



Psychologische Forschung
und Beratung GmbH, Tübingen



Psychologisches Institut

INVENT – Forschungsprojekt Fahrerassistenzsysteme (FAS)
Teilprojekt Fahrerverhalten und Mensch-Maschine-Interaktion (FVM)
Arbeitspaket 3200
Validierung und Weiterentwicklung des Bewertungsverfahrens I-TSA
(Invent – Traffic Safety Assessment)

Abschlussbericht

Prof. Dr. Wilhelm R. Glaser
Dipl.-Psych. Horst Waschulewski

Tübingen, November 2005

Anschriften der Verfasser

Prof. Dr. Wilhelm R. Glaser
Psychologisches Institut
der Universität Tübingen
Friedrichstraße 21
72072 Tübingen
Telefon 07071 72688
Fax 07071 760108
wilhelm.glaser@uni-tuebingen.de
<http://homepages.uni-tuebingen.de/wilhelm.glaser>

Dipl.-Psych. Horst Waschulewski
Geschäftsführer
MTO Psychologische Forschung und Beratung GmbH
Schweickhardtstraße 5
72072 Tübingen
Telefon 07071 9101 5
Fax 07071 9101 48
h.waschulewski@mto.de
<http://www.mto.de>

Dank

Die Verfasser möchten den folgenden Personen für ihre Beiträge zum Gelingen des Projektes ganz herzlich danken.

Umfangreiche Teile der Projektarbeit haben ausgeführt (in alphabetischer Folge):

Dipl.-Psych. Charlotte Glaser, Universität Tübingen

Dr. Margrit Glaser, Universität Tübingen

Dipl.-Inf. Axel Köpf, MTO GmbH, Tübingen

Dipl.-Psych. Dorothee Schmid, MTO GmbH, Tübingen

Den Simulator und das Versuchsfahrzeug haben technisch betreut:

Dipl.-Ing. Hans Grezlikowski, DaimlerChrysler AG, Berlin

Dipl.-Ing. (FH) Clemens Günther, Robert Bosch GmbH, Schwieberdingen

Für das Expertenurteil „Fahrsicherheit“ wirkte an allen Versuchen mit:

Claudia Arnold, Fahrschule Claudia Arnold, Tübingen

Inhalt

1	Zusammenfassung	6
1.1	Lesehinweis	7
2	Einleitung	8
2.1	Zu diesem Bericht	8
2.2	Die Ziele der beiden Experimente	8
3	Die theoretische Grundlage: Das Unfallentstehungsmodell	9
4	Allgemeine Überlegungen zum Versuchsplan	11
4.1	Der grundsätzliche Aufbau	11
4.2	Die unabhängigen Variablen	12
4.3	Die abhängigen Variablen	13
4.3.1	Die Fahrparameter	13
4.3.2	Objektive Verhaltensparameter	14
4.3.3	Die Maße der mentalen Beanspruchung und des Situationsbewusstseins	14
4.3.4	Die Expertenurteile der Fahrlehrerin	19
4.3.5	Variablen zu Person, Persönlichkeit und Einstellungen	20
5	Experiment 1: Der Simulatorversuch, Methode	24
5.1	Versuchspersonen	24
5.2	Versuchsplan	25
5.3	Gerätetechnik	25
5.4	Datentechnik	28
5.5	Fahrweg	29
5.6	Versuchsmaterial	33
5.7	Versuchsablauf	34
6	Ergebnisse des Simulatorversuchs	36
6.1	Terminologische Festlegung: Bedienung und Phase	36
6.2	Die Struktur der statistischen Auswertung	37
6.3	Die Einzelergebnisse	41
6.3.1	Versuchsdauer	41
6.3.2	Überschreiten der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit	42
6.3.3	Längsabstand zu gering für eigene Geschwindigkeit	46
6.3.4	Längsabstand zu gering für Differenzgeschwindigkeit	49
6.3.5	Unsicheres Spurhalten und Spur verlassen	52
6.3.6	Zu geringer Seitenabstand beim Passieren anderer Fahrzeuge	67
6.3.7	Blickabwendungen von der Straße zu lange oder zu häufig	69
6.3.8	Geschwindigkeit zu hoch für Straßenverlauf – Querbeschleunigung	76
6.3.9	Bremsreaktion, Kollisionsvermeidung	79
6.3.10	Ampelsignal missachten	82
6.3.11	Lenkbewegungen	87
6.3.12	Fahrlehrerurteile	95
6.3.13	Rating scale of mental effort (RSME)	99
6.3.14	Situationsbewusstsein (Situation Awareness)	100
6.3.15	Auswertung nur Vorgängerprojekt	100
6.4	Begleitfragebögen zu Person, Persönlichkeit und Einstellungen	101
6.4.1	Begleitfragebogen Fahrerleben	101
6.4.2	DBQ	103
6.4.3	Begleitfragebogen Selbstbeurteilung Eingabehandlung	105
7	Experiment 2: Der Straßenfahrversuch, Methode	107
7.1	Versuchspersonen	107
7.2	Versuchsplan	109
7.3	Gerätetechnik	112
7.4	Datentechnik und Datenaufbereitung	115

7.5	Fahrweg.....	116
7.6	Versuchsmaterial.....	119
7.7	Versuchsablauf.....	119
8	Ergebnisse des Straßenversuchs	121
8.1	Terminologische Festlegung: Bedienung und Phase	121
8.2	Die Struktur der statistischen Auswertung	121
8.3	Die Einzelergebnisse.....	122
8.3.1	Versuchsdauer	122
8.3.2	Überschreiten der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit	124
8.3.3	Längsabstand zu gering für eigene Geschwindigkeit.....	131
8.3.4	Längsabstand zu gering für Differenzgeschwindigkeit.....	137
8.3.5	Unsicheres Spurhalten und Spur verlassen.....	142
8.3.6	Zu geringer Seitenabstand beim Passieren anderer Fahrzeuge	144
8.3.7	Blickabwendungen von der Straße zu lange oder zu häufig.....	145
8.3.8	Geschwindigkeit zu hoch für Straßenverlauf – Querbesehleunigung	158
8.3.9	Bremsreaktion, Kollisionsvermeidung	164
8.3.10	Bremsverzögerung	165
8.3.11	Hohe Fahrbeshleunigung	171
8.3.12	Bedienung Gaspedal.....	177
8.3.13	Ampelsignal missachten.....	180
8.3.14	Lenkbewegungen	181
8.3.15	Fahrlehrerurteile	192
8.3.16	Rating scale of mental effort (RSME).....	199
8.3.17	Situationsbewusstsein (Situation Awareness)	201
8.3.18	Auswertung nur Vorgängerprojekt.....	202
9	Die Ergebnisse von Simulator- und Straßenversuch im Überblick	203
9.1	Zusammenfassende Interpretation, Fahrten ohne ACC	209
9.2	Zusammenfassende Interpretation, Fahrten mit ACC.....	210
10	Die Entwicklung des Bewertungsverfahrens.....	212
11	Die Ergebnisse als I-TSA-Skalenwerte	222
11.1	Die Fahrten ohne ACC im Simulator- und im Straßenversuch	222
11.2	Die Fahrten ohne und mit ACC im Straßenversuch.....	223
11.2.1	Die Einzelskalen bei den Fahrten ohne und mit ACC im Straßenversuch	224
12	Die I-TSA-Skalen und die Variablen zu Person, Persönlichkeit und Einstellungen.....	230
12.1	Das Lebensalter der Vpn.....	230
12.2	Die Skalen zu Persönlichkeit und Einstellung	232
12.2.1	Interkorrelationsmatrizen I-TSA-Skalen und Begleitfragebögen.....	233
12.2.2	Multiple Regressionen der I-TSA-Skalen auf die Begleitfragebögen.....	236
12.3	Zusammenfassung I-TSA-Skalen und Personenvariablen	239
13	Zusammenfassende Bewertung.....	241
14	Literatur	242
15	Tabellenanhang.....	246
16	Materialanhang.....	257
16.1	Protokollbogen VL/FL Simulatorversuch.....	259
16.2	Protokollbogen VL Straßenversuch	262
16.3	Begleitfragebogen Fahrerleben.....	266
16.4	DBQ.....	270
16.5	Begleitfragebogen Selbstbeurteilung Eingabehandlung	272
16.6	RSME	274
16.7	Situationsbewusstsein Simulatorversuch.....	276
16.8	Situationsbewusstsein Straßenversuch	278

1 Zusammenfassung

Das hier berichtete Projekt, Arbeitspaket 3200 aus dem INVENT Teilprojekt Fahrverhalten und Mensch-Maschine-Interaktion (FVM), baut auf dem Vorgängerprojekt, Arbeitspaket 3100, auf. In diesem wurde ein Bewertungsverfahren für die Auswirkungen von Fahrerinformations- und Fahrerassistenzsystemen (FIS/FAS) auf die Verkehrssicherheit vorgeschlagen. Seine wichtigste Komponente ist eine Fahrfehlerliste, die alle mit moderner Messtechnik erfassbaren Fahrfehler enthält und diesen jeweils drei Fehlerstufen zuordnet. Die Grenzwerte zwischen den Stufen wurden aus der aktuellen wissenschaftlichen Literatur hergeleitet. Eine weitere wichtige Komponente ist ein Fehlerbaummodell der Unfallentstehung, das einen Wahrscheinlichkeitszusammenhang zwischen messbaren Fahrfehlern und Verkehrssicherheit herstellt.

Auf der Basis dieser Vorarbeiten wurden zwei umfangreiche Experimente mit 55 bzw. 59 Vpn durchgeführt. Das Ziel war es zu ermitteln, wie sich die Eingabe von Adressen oder Radioneinstellungen in ein Fahrerinformationssystem (FIS) und die Benutzung eines Abstandstempomaten (FAS) auf die Häufigkeit und Dauer der einzelnen Fahrfehler auswirkt. Das erste Experiment wurde auf dem dynamischen Fahrsimulator der DaimlerChrysler AG in Berlin-Marienfelde, das zweite mit einem BMW Versuchsfahrzeug der Firma Robert Bosch GmbH Stuttgart, im öffentlichen Straßenverkehr gefahren. Die reine Fahrtdauer betrug pro Vp 70 bzw. 120 bis 150 Minuten. Der Simulatorversuch enthielt nur die unabhängige Variable *ohne/mit Bedienung* des FIS. Bei einem Teil des Straßenversuchs wurde diese mit der zweiten unabhängigen Variablen *Nichtbenutzung/Benutzung des ACC* (FAS) faktoriell gekreuzt. Beide Experimente wurden so weit wie möglich übereinstimmend geplant, um die Vor- und Nachteile von Simulator- und Straßenfahrversuchen in diesem Kontext zu bewerten. Alle Fahrten wurden von einer erfahrenen Fahrlehrerin begleitet, die die Fahricherheit fortlaufend bewertete und die einzelnen Fahrfehler registrierte.

Experimente dieser Art haben eine große Zahl abhängiger Variablen. Ein wichtiger Teil der Projektarbeit bestand darin, daraus eine kleine Zahl von Kenngrößen abzuleiten, die die Ergebnisse prägnant und übersichtlich wiedergeben. Die einzelnen abhängigen Variablen wurden zunächst nach Fehlerstufen klassifiziert. Danach wurde mittels exploratorischer Faktorenanalysen die Faktorenstruktur der Fehlerstufenvariablen aufgeklärt. Miteinander korrelierende Variablen wurden durch Linearkombination zu Skalen zusammengefasst, die den Namen I-TSA (*INVENT Traffic Safety Assessment*) erhielten. Diese wurden auf die Standardabweichung 10 und für die Kontrollbedingung auf den Mittelwert 100 standardisiert. Die I-TSA-Maßzahlen geben damit die Wirkung der unabhängigen Variablen als Abweichungsmaße wie psychometrische Tests an: Die Maßzahl „110“ bedeutet eine Verbesserung der Sicherheit gegenüber der Kontrollbedingung um eine Standardabweichung, die Maßzahl „90“ eine Verschlechterung gleicher Stärke.

Die ersten fünf Skalen beruhen auf objektiven Fahrdaten. Ihre Namen lauten: I-TSA 1 *Längsführung*, I-TSA 2 *Gas und Längsbeschleunigung*, I-TSA 3 *Querführung links*, I-TSA 4 *Querführung rechts*, I-TSA 5a *Querb beschleunigung* und I-TSA 5b *Querführung Indikatoren*. Zwei weitere objektive Maße schließen sich an: I-TSA 6 *Blickbewegungen* und I-TSA 7 *Lenkbewegungen*. Die letztere Skala wird nicht als Fahrparameter, sondern als psychodiagnostisches Maß für mentale Beanspruchung interpretiert. Das *Sicherheitsurteil Fahrlehrer* wurde mit I-TSA 8, die subjektive Einschätzung der *mental en Beanspruchung* durch die V1 mit I-TSA 9 und das *Situationsbewusstsein* mit I-TSA 10 bezeichnet. Auch diese Maße wurden auf einen Mittelwert von 100 in der Kontrollbedingung und eine Standardabweichung von 10 standardisiert.

Die Ergebnisse stimmen zwischen Simulator- und Straßenfahrt weitgehend überein. Eingabe in das Navigationssystem führte bei den Skalen zur Längsführung und Querb beschleunigung (I-TSA 1, I-TSA 2 und I-TSA 5a) zu einer Erhöhung der Sicherheit durch langsames Fahren. Alle anderen I-TSA-Variablen zeigten zum Teil massive Verschlechterungen. Bei der Fahrt *mit ACC* ergaben sich bei den Längsführungsvariablen und der mental en Beanspruchung deutliche Verbesserungen

gegenüber der Fahrt *ohne ACC*, die sich den Auswirkungen der Eingabe in das Navigationssystem additiv, also ohne statistische Wechselwirkung, überlagerten. Alle diese Effekte waren statistisch signifikant.

Zusammen mit den im Text ausführlich dargestellten Optimierungen des Versuchsplans stellt die entwickelte Auswertetechnik für Experimente dieses Typs ein standardisiertes, flexibel an variierende Anforderungen anpassbares Messverfahren für die Auswirkungen von FIS/FAS-Systemen auf die Verkehrssicherheit dar.

1.1 Lesehinweis

Die beiden Experimente hatten einen beträchtlichen Umfang. Die Zahl der abhängigen Variablen war so groß, dass eine präzise und im wesentlichen vollständige Darstellung der Ergebnisse nicht ganz kurz sein kann. Wir haben versucht, den Bericht trotzdem so übersichtlich und lesbar wie möglich zu machen. Die wenigsten Leser werden ihn ganz studieren. Wir wollten jedoch auch denen, die das Verfahren im Detail durchdenken oder anwenden wollen, die nötige und nützliche Einzelinformation nicht vorenthalten.

Zu einer gründlichen Information ohne allzu viele Details empfiehlt sich die Lektüre der Abschnitte 2 bis 4 und 9 bis 13. Die ausführlich dargestellten Einzelheiten der Versuchsgestaltung finden sich in Abschnitt 5 für den Simulator- und in Abschnitt 7 für den Straßenversuch. Die noch nicht höher aggregierten Ergebnisse werden in den langen Abschnitten 6 für den Simulator- und 8 für den Straßenversuch mit Abbildungen und Tabellen der Signifikanztests dargestellt. Hier wird man sich je nach Interesse durch die Abbildungen hindurchblättern. Im Tabellenanhang, Abschnitt 15, geben wir die vollständigen Variablenlisten mit vielen technischen Details für beide Versuche wieder.

Das schriftliche Material für die Versuche, Protokoll- und Fragebögen, ist in einem Materialanhang enthalten.

Ergänzend zu diesem Abschlussbericht ist ein Verfahrenshandbuch vorgesehen, das die relevanten Informationen für die Anwendung des Verfahrens enthält.

2 Einleitung

2.1 Zu diesem Bericht

Das Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme in Dresden und die Professur für Verkehrspsychologie der Technischen Universität Dresden haben im Rahmen des INVENT-Teilprojektes *Fahrerverhalten und Mensch-Maschine-Interaktion (FVM)*, Arbeitspaket 3100, ein Bewertungsverfahren für die Auswirkungen von Fahrerinformations- und Fahrerassistenzsystemen (FIS/FAS) auf die Verkehrssicherheit vorgeschlagen (Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme, Dresden [IVI] & Technische Universität Dresden, Professur für Verkehrspsychologie [TUD], 2005). Dieser Vorschlag stützte sich auf erste Erprobungsexperimente der Verfasser. Das vorliegende Projekt, INVENT Arbeitspaket 3200, hatte zur Aufgabe, das Verfahren in zwei umfangreichen Experimenten zu validieren und soweit möglich und nötig weiterzuentwickeln. Auftraggeber waren die INVENT-Partnerunternehmen BMW Group München, DaimlerChrysler AG Stuttgart, Robert Bosch GmbH Stuttgart und Volkswagen AG Wolfsburg. Auftragnehmer war eine Arbeitsgemeinschaft von MTO, Psychologische Forschung und Beratung GmbH, Tübingen, und Psychologischem Institut der Universität Tübingen, beide vertreten durch die Autoren dieses Berichtes.

2.2 Die Ziele der beiden Experimente

Die Verfahrensspezifikation aus dem INVENT-Teilprojekt 3100 (IVI & TUD, 2005, S. A-1) enthält die Grundzüge eines standardisierten Experimentes zum Nachweis der Sicherheitsauswirkungen von FIS/FAS und eine Liste dabei zu verwendender abhängiger Variablen. Die Hauptaufgabe des vorliegenden Projektes war es daher, das standardisierte Experiment so zu elaborieren, dass es möglichst sensitiv für die Wirkungen der FIS/FAS-Nutzung wird. Als Indikatorvariablen diene diejenige Teilmenge der Variablen aus der Verfahrensspezifikation, die mit den technischen Mitteln, die uns die Auftraggeber zur Verfügung gestellt haben, gemessen werden konnten. Der Auftrag sah zwei Experimente vor, eines mit dem dynamischen Fahrsimulator der DaimlerChrysler AG in Berlin-Marienfelde und eines mit einer Straßenfahrt im Raum Tübingen. Der Vergleich sollte Argumente für die Wahl von Simulator- oder von Straßenexperimenten bei der Sicherheitsbewertung liefern. Beide Experimente sollten zeigen, dass die FIS/FAS-Nutzung eine Wirkung auf die vorgeschlagenen abhängigen Variablen hat, und sie sollten eine Abschätzung von deren Größenordnung liefern. Eine solche, unter standardisierten Bedingungen zuverlässig nachgewiesene Wirkung ist die erste Voraussetzung dafür, dass ein Messinstrument konstruiert werden kann. Auf diesen Nachweis kann die Informationsverdichtung und Komplexitätsreduktion folgen, die aus diesen Experimenten ein handhabbares Messinstrument macht. Das schließlich entwickelte, standardisierte Verfahren erhielt in Abstimmung mit den Auftraggebern den Namen *I-TSA (INVENT Traffic Safety Assessment)*.

3 Die theoretische Grundlage: Das Unfallentstehungsmodell

Unter sicherem Straßenverkehr wird hier die Minimierung der Unfallwahrscheinlichkeit und der durchschnittlichen Schwere der Unfallfolgen verstanden. Da FIS/FAS eher die aktive Sicherheit beeinflussen, kann Sicherheit als eins minus Unfallwahrscheinlichkeit definiert werden. Auswirkungen dieser Systeme erscheinen dann als Änderungen der Unfallwahrscheinlichkeiten. Um diesen Ansatz zu nutzen, muss zunächst die Entstehung des Unfalls funktional modelliert werden. Eine sehr nützliche Methode sind dabei die Ereignis- oder Fehlerbäume, wie sie in den achtziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts von Leplat (1987) vorgeschlagen und später u. a. von Reichart (2001) extensiv elaboriert wurden. Eine aktuelle, kritische Diskussion dieser Modelle findet sich bei Hollnagel (2004). Die rechte Hälfte von Abbildung 1 zeigt das Unfallentstehungsmodell, das der vorliegenden Arbeit zugrunde liegt. Für menschliches Verhalten gilt grundsätzlich, dass einzelne Handlungen mit einer bestimmbar, kleinen Wahrscheinlichkeit nicht verlaufen wie intendiert (Swain & Guttman, 1983). Beim Führen eines Kraftfahrzeugs spricht man dann von Fahrfehlern. Diese sind die Eingangsvariable im Unfallentstehungsmodell. Ist zur Zeit des Fahrfehlers ein Konfliktobjekt vorhanden, etwa ein vorfahrtsberechtigtes Fahrzeug bei der Missachtung der Vorfahrt, so entsteht ein Verkehrskonflikt. In der Regel versuchen die Konfliktpartner, den Fahrfehler zu „reparieren“, den Konflikt also zu bewältigen. Bei einer Übergangswahrscheinlichkeit vom Verkehrskonflikt zum Unfall zwischen 10^{-5} und 10^{-2} liegt die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Konfliktbewältigung zwischen $1 - 10^{-2}$ und $1 - 10^{-5}$ (Reichart, 2001, S. 160).

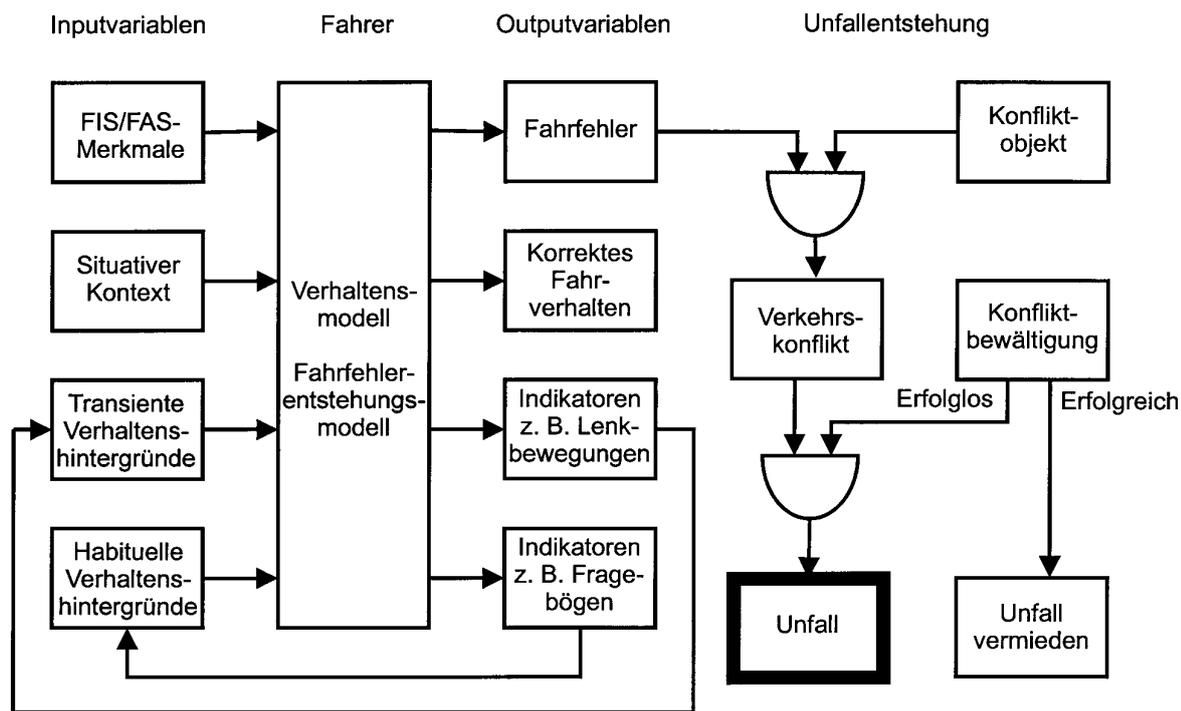


Abbildung 1. Fahrermodell, Fahrfehler und Unfallentstehung (nach Nirschl, Böttcher, Schlag & Weller, 2004, Bild 1 und Bild 3). Die halbelliptischen Scheiben bedeuten die Und-Verknüpfung der Eingangsvariablen

FIS/FAS können die Sicherheit an zwei Stellen im Modell beeinflussen: Sie können das Fahrerverhalten so modifizieren, dass die Wahrscheinlichkeit von Fahrfehlern sinkt oder auch steigt, und sie können die Konfliktbewältigung erleichtern, etwa in Form eines Bremsassistenten. Die Konfliktbewältigung kann auch erschwert werden, beispielsweise durch die Ablenkung vom Verkehrsgeschehen bei der Bedienung eines in diesem Augenblick irrelevanten FIS. Die vorliegen-

de Untersuchung und das Bewertungsverfahren I-TSA gelten dem Zusammenhang von FIS/FAS-Merkmalen und Fahrfehlerwahrscheinlichkeit. In den hier berichteten Experimenten ist die Inputvariable FIS/FAS nach Bild 1 die uni- oder bivariate unabhängige, die Outputvariable Fahrfehler die multivariate abhängige Variable.

Sicherheit wurde oben als eins minus Unfallwahrscheinlichkeit definiert. Unfälle sind jedoch so seltene Ereignisse, dass sich ihre Wahrscheinlichkeit für eine einzelne Person oder für eine Versuchsbedingung in einem Experiment praktikabler Länge nicht als relative Häufigkeit schätzen lässt. Also müssen Indikatoren für diese Wahrscheinlichkeit gefunden werden, die selbst eine soviel höhere Wahrscheinlichkeit besitzen, dass sie in Experimenten als abhängige Variablen zuverlässig gemessen werden können. Für die Übergangswahrscheinlichkeiten vom Verkehrskonflikt zum Verkehrsunfall liegen die schon zitierten Berechnungen von Reichart (2001) vor, nach denen der Verkehrskonflikt zwischen 100 und 100.000 mal wahrscheinlicher ist als der Unfall. Die Wahrscheinlichkeit von Verkehrskonflikten kommt damit schon in die Nähe dessen, was in Experimenten üblicher Länge geringfügig von null verschiedene Häufigkeiten liefert. Auf diesen geringen Häufigkeiten kann aber noch kein zuverlässiges Bewertungsverfahren für die Sicherheitsauswirkungen von FIS/FAS aufbauen. Der Grundgedanke des hier vorgeschlagenen Verfahrens ist es daher, bei der Suche nach geeigneten abhängigen Variablen im Unfällenstehungsmodell, rechte Hälfte in Bild 1, nochmals weiter nach oben zu gehen. Da nicht jeder Fahrfehler einen Verkehrskonflikt zur Folge hat, dürfte die Fahrfehlerwahrscheinlichkeit nochmals um eine Zehnerpotenz höher sein als die Verkehrskonfliktwahrscheinlichkeit. Klassifiziert man schließlich die Fahrfehler nach Schwere, so sollten sich leichtere Fahrfehler finden lassen, deren Wahrscheinlichkeit so groß ist, dass sie als abhängige Variablen in Kleingruppenexperimenten praktikabler Dauer zuverlässig auswertbare Effektgrößen liefern. Die Grundannahme des Verfahrens ist also, dass das seltenere oder häufigere Auftreten leichterer Fahrfehler im Experiment niedrigere oder höhere Unfallwahrscheinlichkeiten anzeigt.

Die eingehendere Diskussion des Begriffs der Verkehrssicherheit und der angemessenen Methoden zu ihrer quantitativen Bestimmung würde über die Aufgabe dieses Berichtes hinausgehen. Eine umfassende Darstellung findet sich bei Reichart (2001).

4 Allgemeine Überlegungen zum Versuchsplan

4.1 Der grundsätzliche Aufbau

Als zentrale unabhängige Variable, deren Einfluss auf die Verkehrssicherheit zu ermitteln war, wurde die Eingabe in ein Navigationssystem während der Fahrt gewählt. Der Kern des Versuchsplans ist damit der Vergleich der Fahrt unter Eingabeinstruktion mit der Fahrt ohne Eingabeinstruktion. Üblicherweise werden dazu längere Fahrten, einmal ohne Eingabeinstruktionen, einmal mit systematisch über die Strecke verteilten Eingabeinstruktionen miteinander verglichen. Da die abhängigen Variablen eine erhebliche Varianz zwischen den Vpn aufweisen, wird diese unabhängige Variable meistens innerhalb der Personen als einmal wiederholte Fahrt auf der gleichen Strecke variiert (so auch IVI & TUD, 2005, S. A-17). Das erhöht die Sensitivität des Versuchsplans für die unabhängige Variable, führt aber die Reihenfolge der beiden Fahrten als Störvariable ein. Bei Straßenfahrten kommt hinzu, dass sich die dynamischen Verkehrssituationen zwischen beiden Fahrten, unkontrollierbar vom VI, erheblich unterscheiden können. Daraus kann eine Fehlervarianz resultieren, die sich nur zum Teil in erhöhten Werten der Prüfvarianzen in den statistischen Tests niederschlägt und daher das Ergebnis entweder uninterpretierbar macht oder wegen erhöhter Prüfvarianzen die Verwerfung der statistischen Nullhypothesen erschwert.

Wir wählten deshalb einen Versuchsplan mit Messwiederholung, der die Sensitivität der statistischen Vergleiche zwischen Kontroll- und Versuchsbedingung und zwischen erster und zweiter Fahrt weiter steigert. Er reduziert zugleich die statistische Konfundierung nicht beeinflussbarer Änderungen der dynamischen Verkehrssituationen mit den unabhängigen Versuchsvariablen. Der gesamte Fahrweg wurde in Paare nach Länge und Straßentyp möglichst äquivalenter Abschnitte zerlegt. Bei deren Nummerierung erhielt jedes Paar einen ungeradzahligen und einen geradzahligen Abschnitt. Die Länge dieser Abschnitte betrug zwischen 2 km und 6 km. Ihre Anzahl war im Simulatorversuch 14, im Straßenversuch ohne ACC 22 und in der Zusatzfahrt mit ACC für einen Teil der Vpn 10 (s. Abschnitt 4.2). Darauf wurden zwei Fahrttypen definiert: Bei Typ A waren alle ungeradzahligen Abschnitte Versuchsbedingung. An ihrem Anfang wurde eine Bedieninstruktion gegeben. Die geradzahligen Abschnitte wurden als Kontrollbedingung ohne Bedieninstruktion gefahren. Bei Typ B waren, komplementär dazu, die geradzahligen Abschnitte Versuchsbedingung mit Bedieninstruktion am Anfang. Die ungeradzahligen Abschnitte waren jetzt Kontrollbedingung ohne Bedieninstruktion. Die Vpn erhielten für die anonymisierte Protokollierung fortlaufende Nummern; ungeradzahlige Vpn begannen den Versuch mit einer Fahrt vom Typ A, geradzahlige Vpn mit Typ B. Auf diese Weise wurde jeder Straßenabschnitt von jeder Vp einmal ohne, einmal mit Bedieninstruktion gefahren. Die Versuchsvariable *Reihenfolge der Fahrten* war exakt gegen die Versuchsbedingung *ohne/mit Bedieninstruktion* ausbalanciert; Störvariablen wie Tageszeit, Übung und Ermüdung im Versuchsverlauf, dynamisch wechselnde Verkehrslage oder Wetteränderungen waren gegenüber den Versuchsvariablen ebenfalls optimal ausbalanciert. Den grundsätzlichen Aufbau zeigt Tabelle 1.

Dieser Versuchsplan erhöht den Aufwand für die Auswertung, weil die Verteilung der Versuchsbedingungen auf die Straßenabschnitte und die Fahrtnummern in den Datensätzen festgehalten werden müssen. Die Abschnittsgrenzen müssen in Koordinaten des Fahrwegs bekannt sein. Das ist in Simulatorprogrammen unproblematisch. Bei Straßenversuchen muss der Fahrweg in GPS-Koordinaten aufgezeichnet werden; die Koordinaten der Abschnittsgrenzen müssen auf Probefahrten oder mit Hilfe elektronischer Landkarten ermittelt werden. Dieser Aufwand zahlt sich mit einer hohen Sensitivität des Versuchsplans für mögliche Effekte der Versuchsvariablen aus.

Tabelle 1. Grundprinzip der Versuchspläne. „A“, „B“ = Fahrtyp, „ohne“, „mit“ = Versuchsbedingung FIS/FAS-Bedienung

Streckenabschnitt Nr. →		1	2	3	4	usw.
Vp Nr. ↓	Fahrt Nr. ↓					
1	1	A mit	A ohne	A mit	A ohne	usw.
	2	B ohne	B mit	B ohne	B mit	usw.
2	1	B ohne	B mit	B ohne	B mit	usw.
	2	A mit	A ohne	A mit	A ohne	usw.
3	1	A mit	A ohne	A mit	A ohne	usw.
	2	B ohne	B mit	B ohne	B mit	usw.
4	1	B ohne	B mit	B ohne	B mit	usw.
	2	A mit	A ohne	A mit	A ohne	usw.
usw.	usw.	usw.	usw.	usw.	usw.	usw.

4.2 Die unabhängigen Variablen

Die zentrale unabhängige Variable war die Fahrt ohne und mit der Instruktion, ein Reiseziel oder eine Radioeinstellung in das entsprechende System einzugeben. Mit dieser unabhängigen Variablen wurden ein Simulator- und ein Straßenversuch gefahren. Damit sollten die Auswirkungen der Bedienung eines FIS auf die objektiven Fahrdaten ermittelt werden. Darüber hinaus sollte die Auswirkung eines FAS untersucht werden. Hier wurde die Autobahnfahrt ohne und mit einem Abstandstempomaten, Bosch ACC (*Automatic Cruise Control*), gewählt. Für die beiden unabhängigen Variablen, *Eingabe* und *ACC*, ergab sich jetzt ein varianzanalytisch auszuwertender 2 x 2-Versuchsplan mit Messwiederholungen auf beiden Faktoren, der auch Wechselwirkungen erkennen konnte. Die Störvariablen *Fahrweg* und *Reihenfolge* wurden auch hier nach Tabelle 1 balanciert.

Im Simulatorprogramm waren die Straßentypen (nach Fastenmeier, 1995, S. 49-50) A2 (*Autobahn, je Fahrbahn 2 Fahrspuren, breiter Seitenstreifen, Standspur oder im Anschlussstellenbereich Beschleunigungs- oder Verzögerungsspur*), L1 (*Landstraße, erbaut nach modernen Längs- und Querschnittsrichtlinien, mindestens 2 Fahrspuren, Fahrbahnmarkierungen, befestigte Bankette, weitkurviger Verlauf*) und C4 (*innerstädtische Straße, eine Fahrbahn, 2-3-spurig befahrbar*) vorhanden. Beide Experimente enthielten deshalb nur diese drei Straßentypen. Da alle Straßenabschnitte unter jeder Versuchsbedingung einmal gefahren wurden, ist die Variable Straßentyp über die Versuchsbedingungen vollständig ausbalanciert. Sie wurde zur Komplexitätsreduktion nicht als Versuchsvariable ausgewertet, obwohl die Datensätze das erlauben würden.

Die Vpn wurden wie folgt ausgewählt. Um die Komplexität der Experimente auch hier zu begrenzen, wurde *Geschlecht* weder als Stör- noch als Versuchsvariable einbezogen, sondern konstant gehalten. Nur Männer nahmen teil. Auch *Fahrerfahrung* wurde konstant gehalten: Es sollten nur Personen mit mindestens fünfjähriger Fahrerfahrung und mindestens 10.000 km jährlicher Fahrleistung, also keine Fahranfänger und Seltenfahrer, einbezogen werden. Diese Bedingung wurde marginal verletzt. Das Lebensalter wurde zwischen dem 23. und dem 66. Lebensjahr so weit wie möglich lückenlos gestreut. Eine Auswertung nach Altersgruppen ist daher möglich. Wegen der Blickbewegungsregistrierung mussten Personen, die zum Fahren eine Brille benötigen, ausgeschlossen werden. Das erschwerte die Anwerbung älterer Vpn. Erfahrung mit Navigationssystemen (FIS) wurde nicht kontrolliert, nur registriert. An der Fahrt mit Abstandstempomat (FAS) nahmen nur Vpn teil, die ein solches System regelmäßig benutzen.

4.3 Die abhängigen Variablen

In beiden Experimenten wurden fünf Gruppen von abhängigen Variablen verwendet. Die erste Gruppe bestand aus der Schnittmenge derjenigen Fahrparameter, die die Verfahrensspezifikation aus AP 3100 (IVI & TUD, 2005, S. A-1 ff.) auflistet, mit denjenigen, die wir mit der zur Verfügung stehenden technischen Ausrüstung messen konnten. Als zweite Gruppe wurden objektive Verhaltensparameter im Simulator oder Fahrzeug registriert. Das waren Blickbewegungsdaten und Eingaben in die Bedienelemente des Fahrzeugs. Bei letzteren ging es um die Position von Lenkwinkel, Gaspedal, Bremspedal und Blinker, immer als Funktion der Zeit. Die Gruppen 1 und 2 unterscheiden sich nach ihrer Position im System Fahrer-Fahrzeug: Gruppe 1 ist Output des Fahrzeugs, Gruppe 2 ist Output des Fahrers und, zumindest teilweise, zugleich Input des Fahrzeugs. Die dritte Gruppe bestand aus subjektiven und objektiven Maßen der mentalen Beanspruchung sowie objektiven Maßen des Situationsbewusstseins des Fahrers (engl. *situation awareness*). In beiden Experimenten begleitete eine erfahrene Fahrlehrerin die Fahrten, und zwar beim Simulatorversuch im Kontrollstand, beim Straßenversuch auf dem Beifahrersitz. Ihre fortlaufend erfassten Expertenurteile über die Fahrsicherheit der Vp und beobachtete Fahrfehler bilden die vierte Gruppe von abhängigen Variablen. Sie dienen der Validierung der Fehlerklassifikation der Fahrparameter. In der fünften Gruppe schließlich wurden einige Variablen zu Person, Persönlichkeit und Einstellungen erfragt oder mit psychometrischen Methoden erhoben.

4.3.1 Die Fahrparameter

Bei diesen Größen handelte es sich im Simulatorversuch um die Längsposition auf dem Fahrweg, Geschwindigkeit, Längsabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug, Geschwindigkeitsdifferenz zum vorausfahrenden Fahrzeug, Längsbeschleunigung, Querposition des Fahrzeugs in der Spur, Gierwinkel, Querbeschleunigung, Seitenabstand zu entgegenkommenden oder überholten anderen Fahrzeugen. Außerdem wurden im Simulatorversuch die Reaktionen auf ein plötzlich auscherendes Fahrzeug und auf das Umschalten eines Lichtsignals auf gelb und rot registriert und die Reaktionszeiten gemessen. Für diese Variablen wurden die Fehlerstufen gemäß Verfahrensspezifikation (IVI & TUD, 2005, S. A-1 ff.) codiert und nach Häufigkeit und Dauer ausgewertet. Der Straßenversuch enthielt im wesentlichen die gleichen Größen, jedoch fehlten die Messmittel für die Variablen der Querposition in der Spur und für die Reaktionszeiten auf externe Ereignisse wie das Umschalten von Lichtsignalen. Das I-TSA-Modell der Unfallentstehung ordnet diesen Parametern Sollwertbereiche zu, deren Überschreitung Fahrfehler darstellen. Das Ausmaß der Sollwertüberschreitung wird als Fehlerstufe quantifiziert.

Die Auswerteregeln des Verfahrens nach AP 3100 (IVI & TUD, 2005, S. A-22 ff.) weisen den Fahrfehlern nicht nur *Fehlerstufen* als Schweregrade, sondern auch noch *Gefährdungsstufen* zu. Die *Gefährdungsstufen* sollen die Auswirkung des Fehlers auf die Verkehrssicherheit wiedergeben. Sie entstehen, indem die Fehlerstufen mit der Dauer ihres ununterbrochenen Bestehens gewichtet werden. Für die einzelnen Fahrparameter werden sie durch Tabellen in der Fahrfehlerbasis definiert (IVI & TUD, 2005, S. A/I-1 ff). Während die Fehlerstufen im Wesentlichen durch Literaturbelege gut gestützt und begründet sind, fehlt für die Fehlerdauer eine entsprechende erfahrungswissenschaftliche Grundlage. Es müsste auch berücksichtigt werden, dass die Fehlerdauer bei den einzelnen Fehlern eine unterschiedliche Bedeutung hat. Bei einem konstant zu kleinen Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug ist es durchaus plausibel, die Gefährdung proportional zur Fehlerdauer anzusetzen. Bei der Zeit bis zur Kollision, *ttc*, handelt es sich aber um ein Maß, das die dynamische Annäherung an ein vorausfahrendes Fahrzeug, den Abbau der Differenzgeschwindigkeit des eigenen Fahrzeugs, kennzeichnet. Es kann, abgesehen von mathematisch idealisierten, aber wirklichkeitsfernen Sonderbedingungen, überhaupt nicht über einen nennenswerten Zeitraum hinweg konstant sein. Eine hohe Dauer entsteht nur beim langsamen Abbau einer geringen Differenzgeschwindigkeit, also einem eher ungefährlichen Annäherungsvorgang. Gefährliche Annäherungen hingegen sind durch den schnellen Abbau einer hohen Differenzgeschwindigkeit und damit eine kurze Dauer

gekennzeichnet. Bei diesem Maß ist es also nicht gerechtfertigt, eine höhere *Gefährdungsstufe* mit einer längeren Dauer einer bestimmten *Fehlerstufe* zu definieren.

Wie die Ausführungen nach AP 3100 (IVI & TUD, 2005, S. A-22 ff., insbesondere Abb. 6) nur andeuten, führt die Auswertung der Fahrparameter nach *Fehlerstufen* und nach *Gefährdungsstufen* zu sehr komplizierten Definitionsproblemen und Rechenregeln bereits auf der Ebene der Rohdaten. Experimente der hier diskutierten Art sind schon allein wegen der großen Zahl von Variablen sehr umfangreich und kompliziert. Um zu klaren und überschaubaren Resultaten zu gelangen, bedürfen sie überlegt eingesetzter Methoden der Komplexitätsreduktion. Dazu gehören einfache und robuste Auswertungsregeln bei den ersten, unmittelbar an den Rohdaten ansetzenden Schritten. In der hier vorgelegten Studie zur Validierung und Weiterentwicklung des Verfahrens beschränken wir uns daher auf die Übernahme der gut gesicherten *Fehlerstufen*. Die tabellen-definierten *Gefährdungsstufen* übernehmen wir nicht. Die Tabellen aus AP 3100 arbeiten wir im Ergebnisteil einzeln nach diesem Grundsatz um.

Unsere Auswertung beginnt also mit der Zuordnung der Fehlerstufen zu den Fahrparametern. Danach bilden wir aus den Fehlerstufen einen zusammenfassenden Fehlerscore. Bei denjenigen Fahrfehlern, bei denen die Gefährdung mit der Dauer ansteigt, rechnen wir hier auch die Dauer ein. Die späteren, multivariaten Auswertungsschritte bauen dann auf diesem Fehlerscore auf.

4.3.2 Objektive Verhaltensparameter

Als objektive Verhaltensmaße wurden hier die Blickbewegungen, die Lenkbewegungen und die Betätigung von Gaspedal, Bremspedal und Blinker aufgezeichnet. In dem Regelkreis Mensch-Fahrzeug-Straße sind die Blickbewegungen wichtige Indikatoren für die Auswertung der Umgebungsinformation durch den Fahrer.

Die Lenkbewegungen stehen zwar in einem naturgesetzlichen Zusammenhang mit Spurhaltung, Gierwinkel und Querschleunigung. Dieser wurde jedoch nicht ausgewertet, da diese Variablen unmittelbar gemessen wurden (Spurhaltung und Gierwinkel nur im Simulator). Die Lenkbewegungen sind ein Reglersignal in dem Mensch-Maschine-Regelkreis der Fahrzeugführung. Der zeitliche Verlauf der Lenkradbewegungen gibt Aufschlüsse über die Eigenschaften des menschlichen Auge-Hand-Systems als Regler (Pew, 1974). Bei der Auswertung des Straßenversuchs explorieren wir die Möglichkeiten, aus den Bewegungen von Gas- und Bremspedal ähnliche Informationen zu gewinnen. Nakayama, Futami, Nakamura und Boer (1999) schlagen eine statistische Auswertung der Lenkbewegungen vor, die sie *Lenkentropie* (engl. *steering entropy*) nennen. Ihre Experimente legen nahe, dass die Lenkentropie ein objektives, zeitlich bis in den Minutenbereich hinein auflösendes Maß für die mentale Beanspruchung ist. Wir diskutieren es deshalb im nächsten Abschnitt ausführlich.

4.3.3 Die Maße der mentalen Beanspruchung und des Situationsbewusstseins

In der Fassung des AP 3100 enthält das I-TSA-Fahrfehlerentstehungsmodell sogenannte Verhaltenshintergründe. Diese sind Dispositionen des Fahrers, die sein Verhalten und damit auch die Fehlerwahrscheinlichkeiten beeinflussen. Sie werden ihrerseits von der Fahraufgabe und deren Modifikation durch FIS/FAS-Systeme verändert. Im Abschlussbericht des AP 3100 werden vier Variablen genannt: *Mental Workload*, *Visual Workload*, *Situation Awareness* und *mentale Modelle* (IVI & TUD, 2005, S. 86). Wir verwenden die deutschen Übersetzungen *mentale Beanspruchung*, *visuelle Beanspruchung* und *Situationsbewusstsein*. Es ist eine empirische Frage, ob und in welchem Ausmaß diese Verhaltenshintergründe von Merkmalen des FIS/FAS abhängen und inwieweit sie die Fahrfehlerhäufigkeiten beeinflussen. Wir haben dazu zwei Maße der mentalen Beanspruchung, RSME und Lenkentropie, und zwei eigene Maße für das Situationsbewusstsein erhoben.

RSME

Die RSME-Skala (engl. *rating scale of mental effort*) wurde von Zijlstra und van Dorn (1985) entwickelt und von Eilers, Nachreiner & Hänecke (1986) ins Deutsche übersetzt und auf Reliabilität und Validität überprüft. Es handelt sich um eine mit der Größenschätz-Methode konstruierte Intervallskala zur Erfassung subjektiv erlebter Anstrengung. Die Versuchspersonen haben auf einer 22 cm langen Skala anzugeben, wie anstrengend sie eine Aufgabe empfunden haben, wobei als Orientierungshilfen in 20-er Schritten die Zahlen 0 bis 220 sowie die verbalen Bezeichnungen *kaum anstrengend*, *etwas anstrengend*, *einigermaßen anstrengend*, *ziemlich anstrengend*, *stark anstrengend*, *sehr stark anstrengend* und *außerordentlich anstrengend* in den experimentell ermittelten Abständen auf der Skala vorgegeben sind.

Obwohl die niederländische Version in verschiedenen Studien hinsichtlich Reliabilität und Validität recht gut beurteilt wurde, konnten Eilers et al. (1986) bei der deutschen Version nur eine sehr hohe Reliabilität, aber keine ausreichende Validität erzielen: Die Skala differenzierte nicht zwischen den unterschiedlichen Belastungsgraden in drei verschiedenen Signalentdeckungsexperimenten. Da es sich aber um ein wenig zeitaufwendiges Verfahren handelt – die Versuchspersonen haben nur ein einziges Urteil abzugeben – wurde die Skala in die vorliegende Untersuchung einbezogen. Die Vpn wurden nach der Fahrt gebeten, auf dem RSME-Blatt ihre subjektiv erlebte Beanspruchung für die Abschnitte ohne Bedienung und mit Bedienung getrennt einzutragen.

Lenkentropie

Die Zeitreihe der während einer Fahrt fortlaufend gemessenen Lenkradpositionen, üblicherweise Lenkwinkel in Grad oder im Bogenmaß, ist ein objektiver Verhaltensparameter des Fahrers. In dem Regelkreis Fahrer – Fahrzeug – Straße ist der Fahrer der Regler, Fahrzeug und Straße sind die Regelstrecke für die Spurhaltung. Die Lenkbewegung ist somit das Signal des Reglers an die Regelstrecke. Sein zeitlicher Verlauf enthält Informationen über die Reglercharakteristik. Nach einer Reihe von Experimenten (MacDonald & Hoffmann, 1980; Nakayama et al., 1999; Nemoto, Yanagishima, Taguchi & Wood, 2003; Verwey, 2000; Verwey & Veltman, 1996) kann diese Zeitreihe als Indikator für die mentale oder visuelle Beanspruchung des Fahrers verwendet werden, wenn sie in einer geeigneten Weise statistisch ausgewertet wird. Ein häufig verwendetes Maß für die Lenkbewegungen ist die Zahl der Lenkausschläge pro Sekunde, die wir auch in den Auswertungen unserer Experimente berechnen. Verwey und Veltman (1996) nennen sie *SRR* (engl. *steering reversal rate*). Sie verstehen darunter die Anzahl der *Lenkbewegungen*, die sie als Wechsel von einer Drehung im Uhrzeigersinn zu einer Drehung gegen den Uhrzeigersinn oder umgekehrt definieren. Sie werten dann die Zeitabstände zwischen aufeinander folgenden *Lenkbewegungen* aus. Wir zählen die lokalen Maxima und Minima pro Sekunde in der Zeitreihe der Lenkradpositionen aus. Das resultierende Maß ist der Reziprokwert von *SSR*.

Unter dem Namen *Lenkentropie* (engl. *steering entropy*) wird eine statistische Kenngröße verstanden, die dem gleichen Zweck, der Messung der mentalen Beanspruchung, dienen soll. Sie wurde von Nakayama et al. (1999) vorgeschlagen und wird seither bei Experimenten wie den hier berichteten gerne als abhängige Variable mitgeführt. Leider werden dabei aber oft exakte Details der Originalveröffentlichung und daraus resultierende Folgerungen ignoriert. Das führt bei diesem Maß zu Fehlinterpretationen der Resultate. Deshalb soll das Verfahren hier zunächst präzise dargestellt werden.

1. Der Lenkwinkel wird mit einer Abtastrate von 20 Hz (50 ms Abstand zwischen den einzelnen Punkten) gemessen.
2. Jeweils drei aufeinander folgende Punkte werden durch arithmetische Mittelung zu einer Maßzahlklasse zusammengefasst. Für diese Messpunkte ist die Abtastrate $20/3 \text{ Hz} = 6,667 \text{ Hz}$, der

Zeitabstand 150 ms. Diese neuen Messpunkte werden für die folgenden Rechnungen mit n nummeriert.

- Für den Messpunkt des Lenkwinkels $\theta(n-1)$ wird die Taylorentwicklung aufgrund der drei Messpunkte des Lenkwinkels $\theta(n-3)$, $\theta(n-2)$ und $\theta(n-1)$ berechnet und zur Vorhersage des Punktes im Zeitpunkt n , $\theta p(n)$ verwendet. Das führt auf den Formel Ausdruck

$$\theta p(n) = \theta(n-1) + (\theta(n-1) - \theta(n-2)) + ((\theta(n-1) - \theta(n-2)) - (\theta(n-2) - \theta(n-3)))/2.$$

- Diese Berechnung wird gleitend über die gesamte Zeitreihe der Lenkwinkel ausgeführt. Es handelt sich also um eine Autoregressionsmethode. Für jedes n wird eine Differenz

$$e(n) = \theta(n) - \theta p(n)$$

berechnet. Abbildung 2 veranschaulicht die Zusammenhänge.

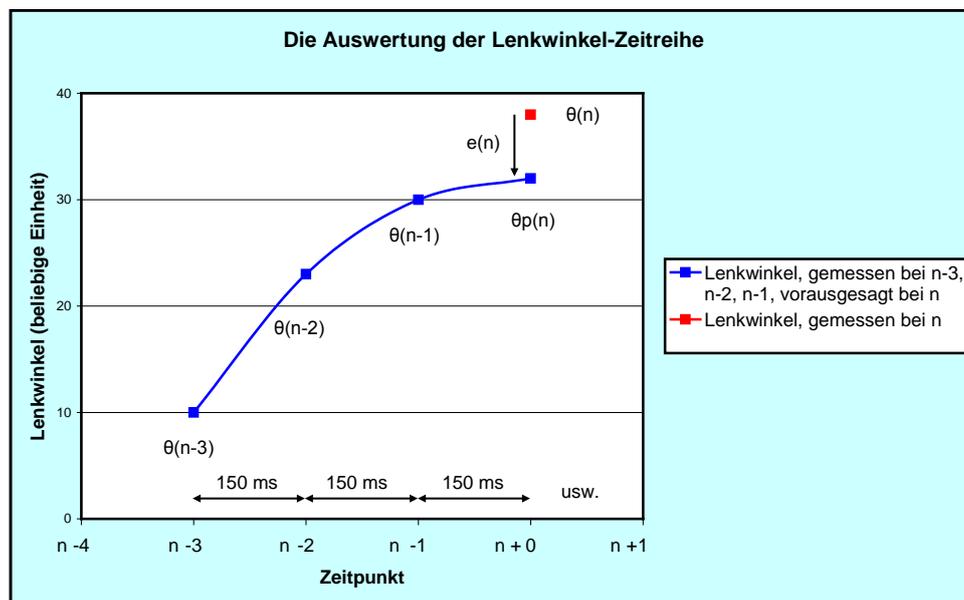


Abbildung 2. Die von Nakayama et al. (1999) vorgeschlagene Autoregressionsmethode zur Berechnung eines Vorhersagewertes $\theta p(n)$ für jeden Messpunkt des Lenkwinkels $\theta(n)$. Nach Nakayama et al. (1999, Fig. 3, p. 3)

- Die statistische Verteilung der $e(n)$ über eine Fahrt oder einen Fahrtabschnitt hinweg drückt also die Voraussagbarkeit der Lenkradposition zum Zeitpunkt n durch die Lenkradpositionen zu den drei vorangehenden Zeitpunkten $n-3$, $n-2$ und $n-1$ aus. Im denkbaren Idealfall einer völligen Voraussagbarkeit hätte diese Verteilung den Mittelwert und die Standardabweichung 0. Im ebenso denkbaren Idealfall einer völligen Nichtvoraussagbarkeit hat sie ebenfalls den Mittelwert 0, jedoch eine maximale Dispersion. Diese Dispersion lässt sich als Informationsgehalt der Lenkradbewegung, als Entropie im Sinne der Informationstheorie, interpretieren (Meyer-Eppler, 1969). Nakayama et al. (1999) verarbeiten diese Verteilung wie folgt.
- Für die Verteilung der $e(n)$ in der Kontrollbedingung wird bei jeder Vp das 90. Zentil (= das 9. Dezil), also derjenige Wert von $e(n)$ ermittelt, unterhalb dessen 90 Prozent, oberhalb dessen 10 Prozent aller Fälle liegen. Es wird α genannt.
- Mit diesem, für jede Vp in ihrer Kontrollbedingung individuell ermittelten α werden 9 Maßzahlklassen mit den 8 Grenzen -5α ; $-2,5\alpha$; $-\alpha$; $-0,5\alpha$; $0,5\alpha$; α ; $2,5\alpha$; 5α gebildet. Die Randklassen sind nach unten bzw. nach oben hin offen. Die Maßzahlklassen und ihre Grenzen sind also für alle Versuchsbedingungen einer Vp gleich, variieren jedoch zwischen den Vpn.

8. Für diese 9 Maßzahlklassen werden die relativen Häufigkeiten $p_1 \dots p_i \dots p_9$ berechnet und in eine modifizierte Shannon-Formel eingesetzt: $H = -\sum p_i \log_9(p_i)$ (vgl. Meyer-Eppler, 1969, S. 77). Die Modifikation der Shannon-Formel liegt nur in der Wahl der Basis 9 (statt 2) für den Logarithmus, womit das Maß für die 9 Klassen auf ein Maximum von 1 normiert wird, aber nicht mehr, wie bei Shannon, in dem Informationsmaß *bit* interpretierbar ist. Die Autoren behalten aber die Shannonsche Bezeichnung *Entropie* bei.
9. Empirisch zeigt sich, dass die vom Mittelwert weiter entfernten Klassen dieser Verteilung eine mit steigender mentaler Beanspruchung der Vpn steigende Besetzung p_i annehmen. Diese führt zu einem höheren Zahlenwert für H . Die Differenz $H_{\text{Versuchsbedingung}} - H_{\text{Kontrollbedingung}}$ und der Quotient $H_{\text{Versuchsbedingung}}/H_{\text{Kontrollbedingung}}$ sind also Maße für steigende mentale Beanspruchung bei einer Vp in der Versuchsbedingung.

Da wir im folgenden Bericht immer wieder die Verteilungen der $e(n)$ diskutieren, führen wir dafür eine eigene, neue Bezeichnung ein. Wir nennen Sie *Nakayma-Verteilungen*. Gegen das H -Maß zu ihrer Kennzeichnung haben wir so weitreichende Bedenken, dass wir es in den folgenden Auswertungen nicht mehr angewandt haben. Diese lauten:

1. Der hohe wissenschaftliche Wert des Verfahrens nach Nakayama et al. (1999) liegt in der Definition der Verteilungen der $e(n)$, vor allem in deren Dispersion, aber nicht in der Berechnung von H mit der modifizierten Shannon-Formel und der Bezeichnung *Lenkentropie*. Die Dispersion muss möglichst prägnant ausgedrückt werden. Die mathematischen Eigenschaften der Berechnung von H zur Charakterisierung der Form einer Verteilung sind eher unklar. Wir bevorzugen deshalb stattdessen die klassischen Maße der Statistik zur Kennzeichnung von Verteilungen: Mittelwert, Standardabweichung, Varianz, Schiefe, Exzess, Median und Quantilabstände.
2. Mit der Wahl jeweils individueller Maßzahlklassen für jede Vp aufgrund des 90. Zentils (α) ihrer Verteilung in der Kontrollbedingung wird das H -Maß relativ auf jede einzelne Vp *ipsativ*. So bezeichnet man in der Psychologie Maße, die für jede Vp innerhalb einer Untersuchung an einem individuellen Standard genormt sind. Solche Maße sind zum Vergleich zwischen Vpn und Vpn-Gruppen nicht mehr geeignet. Ohne dass ihnen der Begriff *ipsativ* zur Verfügung gestanden hätte, sind Nemoto, Yanagishima, Taguchi und Wood (2002) auf genau dieses Problem gestoßen, als sie die Lenkentropie zwischen verschiedenen Personengruppen vergleichen wollten. Sie fanden, dass zum Vergleich zwischen Vpn oder Vpn-Gruppen entweder für jede Vp das Maß $H_{\text{Versuchsbedingung}}/H_{\text{Kontrollbedingung}}$ oder einfach α verwendet werden sollte. Sie fanden zwischen diesen beiden Maßen extrem hohe Korrelationen und verabschiedeten sich dann definitiv vom H -Maß: „Accordingly, under the same test conditions, α can be used as an index for comparing the driving performance (workload level) of different subjects“ (Nemoto et al, 2002, S. 5). In den nachfolgenden Auswertungen testen wir verschiedene Dispersionsmaße für die Nakayama-Verteilungen des Lenkwinkels, vor allem auch Standardabweichung und Varianz. Optimal ist wohl der mittlere Dezilabstand $d = (\alpha_{90} - \alpha_{10})/2$, der halbe Abstand zwischen dem 90. und dem 10. Zentil, also, gleichbedeutend, zwischen dem 9. und dem 1. Dezil. Bei der folgenden Darstellung vermeiden wir den Begriff *Lenkentropie* und sprechen stattdessen von der *Dispersion der Nakayama-Verteilung*.

Situationsbewusstsein (situation awareness)

Situation Awareness ist eine psychologische Variable, deren hohe Ausprägung als Voraussetzung für die sichere Ausführung von komplexen Bedienungsaufgaben gilt. Wir schlagen als Eindeutigung *Situationsbewusstsein* vor. Ist dieser Begriff nach dem Kriterium von Occam's razor nötig und nützlich? Lassen sich mit seiner Hilfe Erklärungen formulieren, die mit etablierten psychologischen Begriffen wie Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Wissen oder mentalen Modellen nicht ge-

funden werden oder nicht ausgedrückt werden können? Wie kann man ihn definieren, wie operationalisieren?

In der Einleitung zu dem von Endsley und Garland (2000) herausgegebenen Sammelband diskutiert Endsley (2000a) mögliche Bedeutungen des Begriffes. Er beginnt mit „Most simply put, [situation awareness] is knowing what is going around you“ (Endsley, 2000a, S. 5). Eine erste präzisere Definition lautet “[Situation awareness is] the perception of the elements in the environment within a volume of time and space, the comprehension of their meaning and the projection of their status in the near future“ (Endsley, 2000a, S. 5). Der Schwerpunkt der Definition liegt also auf dem Wahrnehmen, dem richtigen Einordnen in ein Gesamtbild und dem zeitlichen Extrapolieren für den laufenden Handlungsplan relevanter Umgebungsinformationen. An anderer Stelle definiert Endsley (2000a, S. 8) *Situation Awareness* als „the operator’s internal model of the state of the environment“. Damit wird die Theorie der mentalen Modelle (Johnson-Laird, 1983) anderen Theorien des Langzeitgedächtnisses vorgezogen, wenn es um dessen Bedeutung für das Situationsbewusstsein geht. Das wirklich Charakteristische des Begriffs dürfte aber mit diesen Formulierungen noch nicht getroffen sein. Das zentrale Merkmal ist der Bezug auf das Handlungsziel. Beim Kraftfahrer ist dies die Bewältigung der Stabilisierungs-, Führungs- und Navigationsaufgabe für das zügige und sichere Erreichen des Fahrziels. Dabei müssen fortwährend wechselnde Verkehrssituationen vom Straßenzustand bis zum Verhalten einer großen Zahl anderer Verkehrsteilnehmer perzeptuell erfasst und in eine ständige Verhaltensanpassung umgesetzt werden. Verkehrszeichen müssen wahrgenommen werden und für die Dauer ihrer Geltung das Verhalten zuverlässig steuern. Auch scheinbar belanglose und periphere Ereignisse müssen die selektive Aufmerksamkeit passieren, als mögliche Gefahrenindikatoren ausgewertet und in die „nahe Zukunft“ extrapoliert werden. Ein Beispiel illustriert der Satz „wo ein Ball rollt, folgt ein Kind“. Endsley drückt das mit einem Zitat aus: „Situation awareness is up-to-the minute comprehension of task relevant information that enables appropriate decision making under stress. As cognition-in-action ..., situation awareness fashions behaviour in anticipation of the task-specific consequences of alternative actions“ (Smith & Hancock, 1994, zit. n. Endsley, 2000a, S. 23).

Am prägnantesten lässt sich Situationsbewusstsein demnach als *Cognition in action* kennzeichnen. Es ist ein dynamisches, ständig neu aufdatiertes Gewahrwerden von Situationsmerkmalen, die entweder unmittelbar verhaltensrelevant sind oder dies durch einen Wechsel der Situation sehr schnell werden können. Es ist ein Erkennen drohender Gefahren an unscheinbaren Vorzeichen, ein selektierendes, auswertendes, schlussfolgerndes Monitoring von Umgebungsvariablen und ein Antizipieren von deren zeitlicher Fortentwicklung.

Situationsbewusstsein ist also ein rasch wechselnder Wissens- und Bewusstseinszustand. Um ihn analysieren zu können, müssen im Ereignisstrom einer Straßen- oder Simulatorfahrt bestimmte Situationsbestandteile geschaffen und gezielt abgefragt werden. Das ist mit kaum lösbaren methodischen Problemen verbunden. Fragt man nach der Fahrt ab, erhält man einen Gedächtnis- oder Erinnerungstest. Instruiert man die Vpn, während der Fahrt bestimmte Objekte, beispielsweise Gaststätten am Straßenrand, zu registrieren, ergänzt man die Fahraufgabe um eine Monitoring-Aufgabe, von der unklar ist, wie viel sie mit der Definition von Situationsbewusstsein zu tun hat.

Eine von diesen Einwänden kaum betroffene Experimentiertechnik ist das sog. *Freezing*. Hier wird eine Simulatorfahrt an bestimmten, im Versuchsplan festgelegten, für die Vp überraschenden Stellen angehalten. Unmittelbar danach wird ihr ein sorgfältig auf die Situation abgestimmter Wiedererkennungstest für alle relevanten Merkmale gegeben. Weil die Abfrage jetzt mitten in der Situation und nach der Wiedererkennungsmethode stattfindet, ist die Gedächtnisbelastung ein Minimum. Und weil die Simulation steht, interferiert keinerlei Nachinformation aus der sich weiterentwickelnden Situation mit der Abfrage. Auch hier gibt es aber Fehlerquellen. So könnte die bloße Erwartung von Freezing-Ereignissen das Verhalten der Vp von Anfang an ändern. Die Freezing-Ereignisse könnten außerdem das Verhalten der Vp bei der Fortsetzung der Normalaufgabe

beeinflussen. In Kontrollexperimenten konnte jedoch gezeigt werden, dass diese Fehlerquellen keine große Rolle spielen (Endsley, 2000b). Die Freezing-Methode wurde in der Luftfahrt entwickelt und bisher hauptsächlich dort eingesetzt. Sie kann auch auf Kraftfahrzeug-Simulatorfahrten übertragen werden. Wird das Testfahrzeug mit einer doppelten Pedalerie und einem zweiten Lenkrad für den Beifahrer ausgestattet, so könnte man das Freezing im Straßenverkehr dadurch realisieren, dass der Fahrer eine Okklusionsbrille trägt und der Beifahrer im Augenblick der Okklusion das Fahren übernimmt.

Beim Freezing ist jedoch der Aufwand für die Versuchsplanung und die Herstellung des Abfragematerials erheblich. Es eignet sich in erster Linie für Experimente, in deren Mittelpunkt die abhängige Variable Situationsbewusstsein steht. Es kann nicht einfach neben vielen anderen abhängigen und unabhängigen Variablen in einem multivariaten Experiment mitgeführt werden. Für die hier berichteten Experimente kam daher das Freezing zur Bewertung des Situationsbewusstseins nicht in Frage.

Angesichts der unbefriedigenden Eigenschaften der bekannten Messverfahren, die ohne Freezing auskommen, haben wir zwei neue Methoden entwickelt. Auf der Simulatorstrecke wurden 10 verschiedene Warnzeichen nach StVO, Nummern 101 bis 144, zur Hälfte in den Abschnitten mit Bedienung und zur Hälfte in den Abschnitten ohne Bedienung aufgestellt. Weitere Warnzeichen gab es auf der Strecke mit einer einzigen Ausnahme nicht. Nach der ersten Fahrt wurde den Vp ein unerwarteter Wiedererkennungstest mit den Bildern dieser Zeichen und denen von 10 Distraktoren vorgelegt. Situationsbewusstsein wurde mit der Wiedergabeleistung bei dieser Abfrage operationalisiert. Eine implizite Monitoringaufgabe wurde so vermieden. Das Ergebnis enthält aber eine implizite Gedächtniskomponente. Deren Einfluss auf die Wiedergabeleistung war aber zwischen den Versuchsbedingungen balanciert, weil jede Vp die gleiche Zahl von Schildern in Abschnitten ohne und mit Eingabe in das Navigationssystem zu sehen bekam. Für die Abschnitte mit einer Eingabe in das Navigationssystem zeigte sich eine signifikant verminderte Wiedergabeleistung. Das Resultat und die daraus zu ziehenden Folgerungen werden im Ergebnisteil dargestellt.

Dieses Verfahren ließ sich jedoch nicht auf den Straßenversuch übertragen. Bei der Analyse des geplanten Fahrweges zeigte sich schnell, dass die vorhandene Beschilderung sich in keinem brauchbaren Versuchsplan unterbringen ließ. Wir versuchten daher, die Variable *Situationsbewusstsein* anders zu operationalisieren. Von 18 markanten Stellen des Fahrweges wurden, meistens am Anfang der Abschnitte laut Versuchsplan, Farbfotos im Format 6 x 11 cm angefertigt. Nach der ersten Fahrt wurde der Vp unerwartet ein Testheft mit diesen Fotos vorgelegt. Jedes davon war mit einer Frage wie *Gilt hier eine Geschwindigkeitsbegrenzung?* oder *Sind Sie hier auf der linken oder der rechten Spur gefahren?* verbunden. Die Fragen galten statischen und dynamischen Situationsmerkmalen, objektiven Gegebenheiten und dem Verhalten bei der eigenen Fahrt. Die Wiedergabeleistung sollte das Situationsbewusstsein operationalisieren. Die Resultate und die daraus zu ziehenden Folgerungen sind im Ergebnisteil dargestellt.

4.3.4 Die Expertenurteile der Fahrlehrerin

Der Schwerpunkt der Experimente lag auf der Auswirkung der unabhängigen Variablen, Fahrt *ohne* und *mit Eingabe* in das Navigationssystem, auf die objektiven Fahrfehlervariablen. Diese wurden jedoch zusätzlich, wie bei psychologischen Testverfahren verbreitet, an einem Expertenurteil validiert. Zu diesem Zweck begleitete eine erfahrene Fahrlehrerin die Simulatorfahrten im Kontrollstand und die Straßenfahrten auf dem Beifahrersitz. Zum Ersten beurteilte sie die allgemeine Fahrsicherheit der Vp für jeden Straßenabschnitt nach Versuchsplan (vgl. Tabelle 1) auf einer Ratingskala mit den Kategorien 1 (*sehr sicher*) bis 6 (*sehr unsicher*), die an die Schulnoten angelehnt waren. Zum Zweiten registrierte sie jedes Auftreten eines einzelnen Fahrfehlers aus einer Fahrfehlerliste mit 19 Kategorien. Damit sollten auch Fahrfehler protokolliert werden, die in der Liste der objektiven Fahrfehlervariablen nicht enthalten waren. Jeder Fahrfehler wurde dabei mit

einer weiteren Ratingskala nach Schwere bewertet: 1 (*keine Gefährdung erkennbar*), 2 (*geringe Gefährdung*), 3 (*erhebliche Gefährdung*) und 4 (*extreme Gefährdung, Fahrlehreingriff notwendig*). Die Fahrlehrerin tippte ihre Urteile unmittelbar bei der Beobachtung der Fehler oder am Abschnittsende in ein Notebook ein. Ein von MTO entwickeltes Protokollierungsprogramm registrierte die Eingaben zusammen mit einem Zeitstempel.

4.3.5 Variablen zu Person, Persönlichkeit und Einstellungen

Alle Vpn füllten zudem einen Fragebogen mit den wichtigsten demographischen und verkehrsbezogenen Variablen aus: Alter, Beruf, Art des zur Zeit vorwiegend genutzten Kraftfahrzeugs, pro Jahr gefahrene Kilometer, Schadensfreiheitsrabatt bzw. Schadensfreiheitsklasse, Dauer des Führerscheinesbesitzes, Erfahrung im Umgang mit Navigationssystemen im Kraftfahrzeug, mögliche Altersweitsichtigkeit und Händigkeit. Mögliche Zusammenhänge mit den Fahrparametern und den objektiven Verhaltensparametern wurden dann korrelationsstatistisch exploriert.

Laut I-TSA-Modell der Fahrfehlerentstehung werden die Verhaltenshintergründe nicht nur von Eigenschaften des FIS/FAS, sondern auch von sogenannten Moderatorvariablen beeinflusst (IVI & TUD, 2005, S. 86). Es handelt sich dabei um Persönlichkeits- und Einstellungsmaße mit Bezug zum Autofahren. Wir diskutierten wichtige in der Literatur vorliegende Messinstrumente und wählten für die eigenen Experimente Teile der brauchbarsten davon aus.

AISS

Bei dem AISS (*Arnett Inventory of Sensation Seeking*) handelt es sich um eine von Arnett (1994) vorgelegte verbesserte Form der in den letzten Jahren stark kritisierten *Sensation Seeking Scale Form V (SSS-V)* von Zuckermann, Eysenck und Eysenck (1978). *Sensation seeking* wird dabei als persönlichkeitspsychologisches Merkmal verstanden, das durch ein Bedürfnis nach möglichst verschiedenartigen, neuen und komplexen Situationen gekennzeichnet ist. Dies impliziert eine Tendenz zu Risikoverhalten, im Extremfall zu normverletzenden und delinquenten Verhaltensweisen wie z. B. Konsum illegaler Drogen oder aggressives und riskantes Autofahren. Letzteres ist auch der Grund für das Einbeziehen des AISS in verkehrspsychologische Untersuchungen. Arnett (1994) kritisiert am SSS-V einerseits, dass einige Items im Sprachgebrauch veraltet (z. B. Verwendung des Begriffs *Hippie*) oder inhaltlich zu stark altersabhängig seien (z. B. *Bergsteigen*). Andererseits sieht er die Gefahr tautologischer Befunde, wenn Items bereits delinquentes Verhalten beinhalten, also genau jene Verhaltensweisen, die in den meisten Studien anhand des SSS-V erklärt werden sollen. Mit der von Arnett (1994) entwickelten verbesserten Form des SSS-V sollen in einer auf 20 Items gekürzten Form nur noch die zwei Faktoren *Intensität* (Bedürfnis nach intensiver Sinnesstimulation) und *Neuigkeit* (Offenheit und Aufgeschlossenheit für neuartige Stimulationen) als die beiden Hauptdimensionen des Merkmals *Sensation Seeking* gemessen werden. Diese Form des Tests verzichtet auf Items, die riskantes und illegales Verhalten implizieren, da *Sensation Seeking* sowohl sozial akzeptiertes als auch antisoziales Verhalten zur Folge haben kann und bindet das Konzept stärker an die Intensität und den Neuigkeitswert einer Situation.

Roth (2003) hat die psychometrischen Kennwerte (interne Konsistenz, Reliabilität, Validität) einer deutschen Fassung des AISS an einer Stichprobe von 250 Studierenden überprüft. Eine entsprechend den theoretischen Vorannahmen auf die Extraktion von zwei Faktoren reduzierte Faktorenanalyse ergab eine Varianzaufklärung von nur 24 %. Die Reliabilität (Cronbachs α) lag bei 0,49 (*Neuigkeit*), 0,53 (*Intensität*) und 0,63 (*Gesamtwert*). Durch Ausschluss von 6 Items verbesserten sich die entsprechenden Werte auf 0,57, 0,60 und 0,66. Bei der Bestimmung der Validität des AISS mit einer logistischen Regressionsanalyse fand er nur 6 % Varianzaufklärung bezüglich der in diesem Zusammenhang primär interessierenden Variablen *Fahren unter Alkoholeinfluss*, die als Maß für Risikobereitschaft verwendet wurde. Da der Autor selbst aus der geringen Reliabilität und Validität des Tests folgert, dass dieser erheblich verbessert und weiterentwickelt werden müsse,

wurde er in unserer Untersuchung nicht eingesetzt und statt dessen der Technik-/Risikofragebogen von Färber und Färber (2003) verwendet.

Technik-/Risikofragebogen von Färber und Färber (2003)

Dieser Fragebogen, der sich explizit auf das Konzept des *Sensation Seeking* bezieht, geht von der Hypothese aus, dass Personen mit hoher Risikobereitschaft oder mit großer Begeisterung für neue Technologien sich anders gegenüber neuen Fahrerassistenz- und Informationssystemen verhalten als Personen mit geringer Risikobereitschaft oder mit wenig Begeisterung für neue Technologien. So ist zu erwarten, dass Personen mit großer Technikbegeisterung wesentlich besser mit den Bedienelementen eines Navigationssystems zurechtkommen, aber möglicherweise auch eine riskantere Fahrweise zeigen als Personen, die sich nicht für technische Neuerungen interessieren oder ihnen ablehnend gegenüberstehen.

Der Bogen besteht aus 20 Items, jeweils 10 zum Bereich Technik und 10 zum Bereich Risikobereitschaft. Innerhalb jedes Bereichs wurde von den Autoren versucht, jeweils ungefähr gleich viele Pro- und Contra-Items zu finden. Der Proband kann jedem Item zustimmen oder es ablehnen, eine mehrstufige Likertskala wird nicht verwendet. Eine Item-Analyse im Sinne der Testkonstruktion und Untersuchungen zur Validität des Fragebogens stehen noch aus. Allerdings zeigte eine Einteilung der Versuchspersonen je nach Punktzahl in eine Pro-Technik/Risiko-Gruppe oder eine Contra-Technik/Risiko-Gruppe eine hohe Face-Validität. Die 20 Items wurden inhaltlich unverändert in unsere Untersuchung einbezogen, es wurde nur, um die Daten in einem Fragebogen gemeinsam mit den Fragen zum Fahrerleben (s. u.) darbieten zu können, eine fünfstufige Rating-Skala von 1 (*trifft voll zu*) bis 5 (*trifft gar nicht zu*) anstatt der *Ja/Nein*-Antwort vorgegeben.

DBQ

Der DBQ (*Driver Behaviour Questionnaire*) wurde von Reason, Manstead, Stradling, Baxter und Campbell (1990) zur Vorhersage von Unfallhäufigkeiten aus der Art und Zahl individueller Fahrfehler entwickelt. Die Testpersonen geben dabei Selbsteinschätzungen hinsichtlich der Art und Zahl der Fehler ab, die ihnen beim Autofahren unterlaufen (*self-reported questionnaire*). Bei einer ersten Version des Tests mit 50 Items ergab eine faktorenanalytische Auswertung drei Faktoren, die die Autoren im Sinne von Reason (1987) und Rasmussen (1980) wie folgt interpretieren:

1. Leichtere bzw. „dumme“ Fehler, Schnitzer (engl. *lapses*), das unbeabsichtigte Abweichen einer Handlung von dem, was eigentlich beabsichtigt war. Beispiel: Man betätigt aus Versehen den Schalter für den Blinker, obwohl man eigentlich den Scheibenwischer starten wollte. Leichtere Fehler sind zwar ärgerlich und lästig, aber üblicherweise nicht bedrohlich.
2. Schwere Fehler durch falsches Einschätzen der Situation, Regelverletzung, Nachlässigkeit (engl. *errors*). Beispiel: Man versucht jemanden zu überholen ohne zu bemerken, dass er bereits nach links blinkt und abbiegen möchte. Diese Fehler stellen in der Regel eine deutliche Verkehrsgefährdung dar.
3. Aggression, bewusstes Übertreten von Verkehrsregeln (engl. *violations*). Beispiel: Man ärgert sich über ein auf der Autobahn links fahrendes langsames Fahrzeug und überholt es rechts. Diese Verkehrsübertretungen stellen wie die schweren Fehler erhebliche Verkehrsgefährdungen dar.

Die gleichen drei Faktoren wie Reason et al. (1990) fanden Parker, Reason, Manstead und Stradling (1995) in einer Kurzform des DBQ mit 24 Items. Die drei orthogonalen Faktoren erklärten dabei zusammengenommen 34 % der Varianz. Bei einer Wiederholung des Tests nach sieben Monaten ergab sich eine Test-Retest-Reliabilität von 0,75 (leichtere Fehler), 0,69 (schwere Fehler) und 0,81 (Verkehrsübertretungen). Zudem wiesen in einer Regressionsanalyse die Variablen *Geschlecht* und die *Selbsteinschätzung als „sicherer Autofahrer“* eine gewisse prädiktive Validität für

die Zahl der leichten oder schweren Fehler auf: Frauen und Personen, die sich als eher schlechte Autofahrer bezeichneten, gaben mehr Fehler dieser Art an als Männer und Personen, die sich als gute Autofahrer einschätzten. Allerdings waren diese Zusammenhänge nicht sehr ausgeprägt. Sehr viel höher war die prädiktive Validität dieser Variablen zur Vorhersage der Häufigkeit von bewusster Aggression und Verkehrsübertretungen: Männer, jüngere Autofahrer und Personen, die sich als gute Autofahrer einschätzten, zeigten diese Fehlerart deutlich häufiger als Frauen, ältere Autofahrer und Personen, die sich als eher schlechte Autofahrer bezeichneten. Zudem fanden die Autoren, dass, auch wenn die Variablen *Alter*, *Geschlecht*, *Fahrpraxis* und *Selbsteinschätzung als guter/schlechter Autofahrer* konstant gehalten wurden, ein signifikanter Zusammenhang zwischen Häufigkeit der bewussten Verkehrsübertretungen und der Zahl der Verkehrsunfälle in den vergangenen drei Jahren bestand. Nach Meinung der Autoren sind leichte und schwere Fehler primär durch ein Versagen der Informationsverarbeitung beim Autofahren bedingt, während bei bewussten Verkehrsverletzungen vor allem soziale und motivationale Faktoren eine Rolle spielen.

Schon bei der Betrachtung der Items im Fragebogen, mit denen die bewussten schweren Verkehrsübertretungen gemessen werden sollen, fällt bei fast allen Aussagen eine erhebliche aggressive Komponente auf wie beispielsweise bei dem Statement *Sie ärgern sich über einen anderen Fahrer und jagen ihm hinterher, um ihm zu zeigen, was sie von ihm halten*. Fünf der sechs Items, die die höchste Fehlerstufe messen sollen, zeigen einen hohen Anteil an Ärger und Aggression. Dem sind Stradling und Meadows (2000) näher nachgegangen, indem sie in einer abgeänderten Version des DBQ zwei Arten von Items zur Messung dieses Fehlers verwendeten: Solche, die nur gefühlsneutrale schwere Verletzungen der Straßenverkehrsordnung beinhalteten und solche, die zusätzlich Ärger und Aggression ausdrückten. Die Items mit einer deutlich aggressiven Komponente korrelierten mit allen drei Faktoren der *Driver Anger Scale* von Deffenbacher, Oetting und Lynch (1994): *Ärger, wenn das Vorankommen durch langsames Fahren der anderen Verkehrsteilnehmer behindert wird, Ärger über rücksichtsloses Fahren anderer und Ärger, wenn andere Autofahrer sich aggressiv und feindselig verhalten*. Personen, die selbst aggressive Verkehrsverletzungen begehen, ärgern sich demnach offensichtlich auch mehr über rücksichtsloses und aggressives Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer als Personen, die eine weniger aggressive Fahrweise zeigen.

Wir verwendeten die in Parker et al. (1995, S. 1039) veröffentlichte Kurzform des DBQ mit 24 Items. Die zusätzliche Verwendung der *Driver Anger Scale* erschien uns wegen der hohen Korrelation mit dem 3. Faktor des DBQ (*bewusste, meist aggressive Verkehrsübertretungen*) verzichtbar, vor allem da unser Interesse weniger aggressivem Fahrverhalten gilt, als vielmehr der Frage, ob die Selbsteinschätzung der Häufigkeit von Fahrfehlern im DBQ prädiktive Validität für die Häufigkeit von Fehlern beim Fahren mit oder ohne Fahrerassistenz- und Informationssystem zeigt. Dabei wählten wir in enger Anlehnung an das englische Original die sechs Antwortkategorien *nie, fast nie, selten, gelegentlich, häufig, sehr häufig*. Diese wurden verbal vorgegeben und mit den Ziffern von 0 (*nie*) bis 5 (*sehr häufig*) codiert. Die uns vorliegende deutsche Übersetzung hatte sprachliche Mängel; so war Item 14 *Queueing to turn left onto main road, you pay such close attention to the main stream of traffic that you nearly hit the car in front* mit *In der Abbiegespur auf einer Hauptstraße dem geradeaus fahrenden Hauptverkehr so viel Aufmerksamkeit widmen, dass Sie beinahe auf Ihren Vordermann auffahren* übersetzt. Wir haben das abgeändert in *Sie achten beim Einbiegen in eine Vorfahrtsstraße so sehr auf den dortigen Verkehr, dass Sie beinahe auf den Vordermann auf Ihrer Spur auffahren*. Alle Items der deutschen Übersetzung wurden gründlich überarbeitet. Den neuen Text enthält Tabelle 11. Aufgrund einer Faktorenanalyse ließen sich drei Skalen bilden, die den drei Reason-Faktoren *leichtere Fehler*, *Schnitzer* (engl. *lapse*), *schwere Fehler* (engl. *error*) und *bewusste Verkehrsübertretung* (engl. *violation*) mit Betonung auf aggressivem Verhalten entsprechen und Reliabilitäten (Cronbachs α) > 0,700 aufweisen.

Fragebogen zum Fahrerleben

Zusammen mit den 20 Items des Technik-/Risikofragebogens von Färber und Färber (2003) wurden 27 weitere Fragen zum Fahrerleben und zu unterschiedlichen Fahrstilen eingesetzt. Die Versuchspersonen wurden gebeten, auf einer fünfstufigen Skala von 1 (*trifft voll zu*) bis 5 (*trifft gar nicht zu*) ihre Zustimmung oder Ablehnung zu Statements auszudrücken, die sich mit *Freude am Fahren, Angst vor Überforderung beim Autofahren, eigene Einschätzung der Fahrkompetenz, Einfluss der Stimmung auf das Fahrverhalten* usw. befassten. Vierzehn dieser Items wurden dem MTO-Fragebogen zum Fahrerleben entnommen, acht einer Sammlung, die uns die Verkehrspsychologie Dresden zur Verfügung gestellt, selbst aber im AP 3100 nicht verwendet hat. Fünf Items wurden neu formuliert. Aufgrund einer Faktorenanalyse der Antworten der insgesamt 114 Personen beider Experimente ließen sich die fünf Skalen (1) *Ängstlichkeit, Furcht vor Überlastung oder Überforderung*, (2) *Begeisterung für die Technik*, (3) *Selbstbewusstsein, Selbstsicherheit als Fahrer*, (4) *Freude am Fahren* und (5) *Norm- und Regelorientierung* mit Reliabilitäten (Cronbachs α) $> 0,700$ bilden. Die Einzelheiten enthält der Ergebnisteil zu Experiment 1.

Selbstbeurteilung der Eingabehandlung

Am Ende des Fragebogens befand sich noch eine aus neun Items bestehende, neu entworfene Skala zur Selbstbeurteilung der Eingabehandlung. Hier sollten die Vpn nach Abschluss des Fahrversuchs auf der gleichen fünfstufigen Rating-Skala wie beim Fahrerleben angeben, wie sie das Bedienen des Navigationssystems während der Fahrt empfunden hatten. Die verwendeten Statements lauteten z. B.: *Ich wurde durch das Eingeben vom Autofahren abgelenkt; ich fuhr während des Eingebens unsicherer als sonst; das Eingeben hat das Autofahren anstrengender gemacht oder das Bedienen des Navigationssystems während der Fahrt sollte verboten werden*. Aufgrund einer Faktorenanalyse ließ sich aus sechs dieser Items eine eindimensionale Skala *Beeinträchtigung des Fahrens durch die Eingabe* mit Cronbachs $\alpha = 0,859$ gewinnen.

5 Experiment 1: Der Simulatorversuch, Methode

5.1 Versuchspersonen

Es war geplant, von 60 Vpn auswertbare Daten zu gewinnen. Der Simulator stand für zehn Versuchstage zur Verfügung. Eine Verlängerung zum Ausgleich von Ausfällen war nicht möglich. Pro Versuchstag wurden 6 Vpn mit einer Simulatorzeit von jeweils 90 Minuten eingeteilt. Insgesamt nahmen schließlich 59 Vpn teil. Bei 4 Personen wurden wegen Übelkeit oder Problemen mit Teilen der Simulatorsoftware nur Bruchteile der vorgesehenen Daten gewonnen, so dass sie nicht in die Auswertungen einbezogen werden konnten. Es verblieben auswertbare Datensätze von 55 Vpn.

Die Vpn wurden im Versuchspersonenpool der Abteilung RPB/BD-Fahrsimulator der DaimlerChrysler AG in Berlin-Marienfelde angeworben. Die Versuchsteilnahme wurde mit 25 € pro Stunde vergütet. Das Lebensalter der Vpn lag zwischen 23 und 66 Jahren mit $M = 44,0$, $s = 11,3$ und $Md = 42,5$ Jahren. Die Verteilung zeigt Abbildung 3. Über 50 Jahre alt waren 15 Personen. Nur Männer nahmen am Versuch teil.

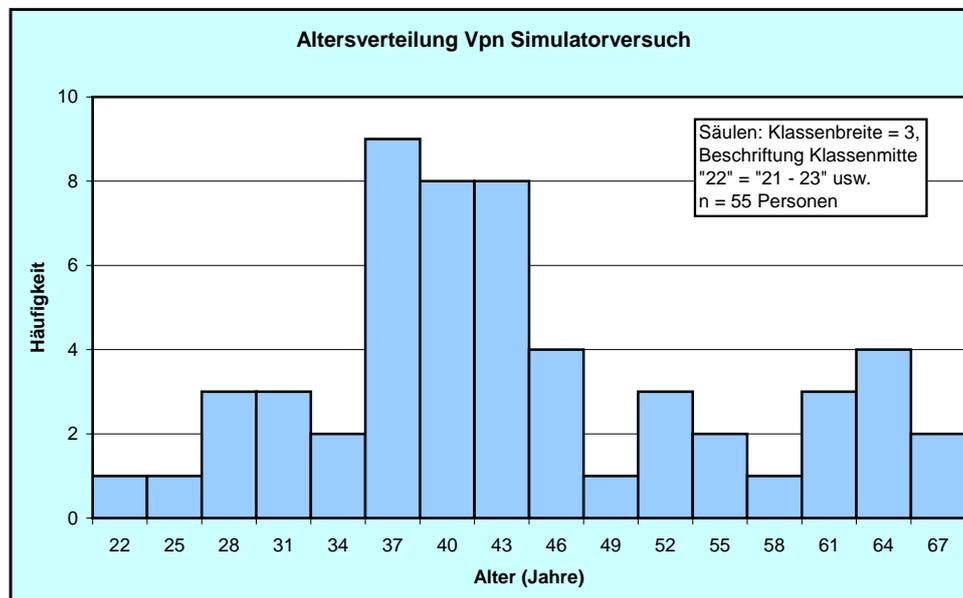


Abbildung 3. Die Altersverteilung der Vpn im Simulatorversuch

Mit einem Fragebogen wurden einige allgemeine Daten zum Autofahren erhoben. Die jährliche Fahrleistung mit dem Pkw wurde von 5,5 % (3 Personen) mit weniger als 10.000 km angegeben; 56,4 % gaben 10.000 bis 20.000 km, 20,0 % 20.000 bis 30.000 km und 18,2 % mehr als 30.000 km an. Als Punktestand im Verkehrszentralregister gaben 87,3 % „0“ an; 10,8 % (10 Personen) nannten etwa gleichverteilt Zahlen zwischen „1“ und maximal „4“, eine Person machte keine Angabe. Über ihren Schadenfreihheitstarif in der Kraftfahrzeugversicherung gaben 85,5 % der Vpn Auskunft; von diesen hatten 89,4 % einen Tarif von 50 Prozent oder weniger. Der Mittelwert dieser Angaben beträgt 46, der Median 38 Prozent. Den Führerschein der Klasse 3 bzw. B haben 65,4 % der Vpn im Alter von 18 Jahren, 23,6 % im Alter von 19 oder 20 Jahren erworben; die restlichen 11,0 % gaben ein Alter zwischen 21 und maximal 27 Jahren dafür an. Von allen Vpn bezeichneten sich 23,7 % (13 Personen) als altersweitsichtig, 3 Personen davon im Alter bis zu 50 Jahren. Von den 15 Personen im Alter über 50 Jahren gaben ein Drittel, 5 Personen, keine Altersweitsichtigkeit an. Als Rechtshänder sahen sich 94,5 % der Vpn.

Zu Navigationssystemen wurden die zwei folgenden Fragen gestellt: *Haben Sie Erfahrung im Umgang mit Navigationssystemen im Kraftfahrzeug?* und *falls ja, geben Sie Navigationsziele im*

Stand oder auch während der Fahrt ein? Beide Fragen haben 63,6 %, 35 Vpn, beantwortet. Die Verteilung der Antworten zeigt Tabelle 2. Die Daten zeigen dabei eine mit der Erfahrung wachsende Tendenz, auch während der Fahrt Navigationsziele einzugeben.

Tabelle 2. Erfahrungen der Vpn mit Navigationssystemen

		Geben Sie Navigationsziele im Stand oder auch während der Fahrt ein?					Total
		Immer im Stand	Meistens im Stand	Beides gleich	Meistens während der Fahrt	Immer während der Fahrt	
Erfahrung im Umgang mit Navigationssystemen im Kraftfahrzeug	Ja, viel	2	4	3	2	0	11
	Ja, etwas	2	8	2	0	0	12
	Eher wenig	4	5	2	0	0	11
	Nein, gar nicht	1	0	0	0	0	1
Total		9	17	7	2	0	0

5.2 Versuchsplan

Der Versuchsplan ist grundsätzlich wie in Tabelle 1 aufgebaut. Die zentrale unabhängige Variable ist die Fahrt ohne und mit der Instruktion, ein Reiseziel in das Comand-System APS 50 einzugeben. Im Simulatorversuch war keine Bedienung des Radioteils enthalten. Die Strecke wurde in 14 Abschnitte mit den Bezeichnungen A1, B1, ... B7 zerlegt. A- und B-Abschnitte mit der gleichen Ziffer hatten etwa gleiche Eigenschaften, Straßentyp und Länge. Jede Vp fuhr die gesamte Strecke zweimal, einmal mit dem Steuerprogramm A, einmal mit dem Steuerprogramm B. In Programm A wurden die Eingabeinstruktionen in den A-Abschnitten, in Programm B in den B-Abschnitten gegeben. Die Abschnitte mit dem jeweils anderen Buchstaben enthielten keine Eingabeinstruktion. Außerdem wurden noch die Fahrttypen A und B mit der Reihenfolge der Fahrten balanciert: Ungeradzahlige Vpn begannen den Versuch mit Fahrt A, geradzahlige mit Fahrt B. Auf diese Weise fuhr jede Vp jedes Straßenstück einmal ohne, einmal mit Bedieninstruktion. Bezüglich der unabhängigen Variablen Bedienung war also jedes Straßenstück seine eigene Kontrollbedingung. Verhaltensänderungen der Vp im Laufe des Versuches und zwischen erster und zweiter Fahrt waren so gegenüber den Versuchsbedingungen ausbalanciert. Die Auswertung dieses Versuchsplans erlaubt es, die Haupteffekte der Versuchsbedingung und der ersten/zweiten Fahrt sowie deren Wechselwirkung statistisch mit hoher Sensitivität zu bewerten. Abweichungen zwischen erster und zweiter Fahrt, beispielsweise auch ein verspäteter Start oder ein vorzeitiges Ende einer Fahrt, wirken sich auf beide Versuchsbedingungen balanciert aus. Die konkrete Ausgestaltung der Streckenabschnitte wird unten im Abschnitt Fahrweg (Kapitel 5.5) beschrieben.

Der Versuch war multivariat angelegt, enthielt also eine große Zahl von abhängigen Variablen. Diese wurden bei den allgemeinen Überlegungen zum Versuchsplan eingehend erläutert und werden daher hier nicht wiederholt.

5.3 Gerätetechnik

Der Versuch wurde mit dem Fahr Simulator der Firma DaimlerChrysler in Berlin-Marienfelde gefahren. Seit seiner Errichtung in den Jahren 1983/84 wurde das Simulatorsystem mehrfach grundlegend überarbeitet. Bei der letzten Überholung in den Jahren 2003/2004 wurden unter Anderem die Hydraulikzylinder, das Projektionssystem sowie die gesamte Computer-Hardware und Software für die Simulatorsteuerung und die Bild- und Tonerzeugung erneuert. Den Simulator zeigt Abbildung 4, das Versuchsfahrzeug im Simulatorraum Abbildung 5. Eine Maßskizze der Bewegungsplattform und des Projektionsdoms ist in Abbildung 6 enthalten. Die Projektionsfläche im Dom ist ein Kugelsegment mit dem Radius $r = 3,658$ m. Insgesamt 240° des Umfangs werden für die Front- und Seitenprojektion, 60° für die Rückspiegelprojektion ausgenutzt. Das Bild wird mit 6

Röhrenprojektoren der Firma Baco mit einer Auflösung von jeweils 1600 x 1200 Pixeln erzeugt. Die Parameter des Simulators für die Erzeugung der Newton-Kräfte enthält Tabelle 3.



Abbildung 4. Der Fahrsimulator von Daimler-Chrysler zur Versuchszeit, Bewegungssystem und Projektionsdom



Abbildung 5. Das Versuchsfahrzeug im Projektionsdom, Mercedes-Benz E, W211 . Für einen maximalen Kontrast der Projektion wird die im Foto erkennbare Raumbelichtung während der Fahrt ausgeschaltet

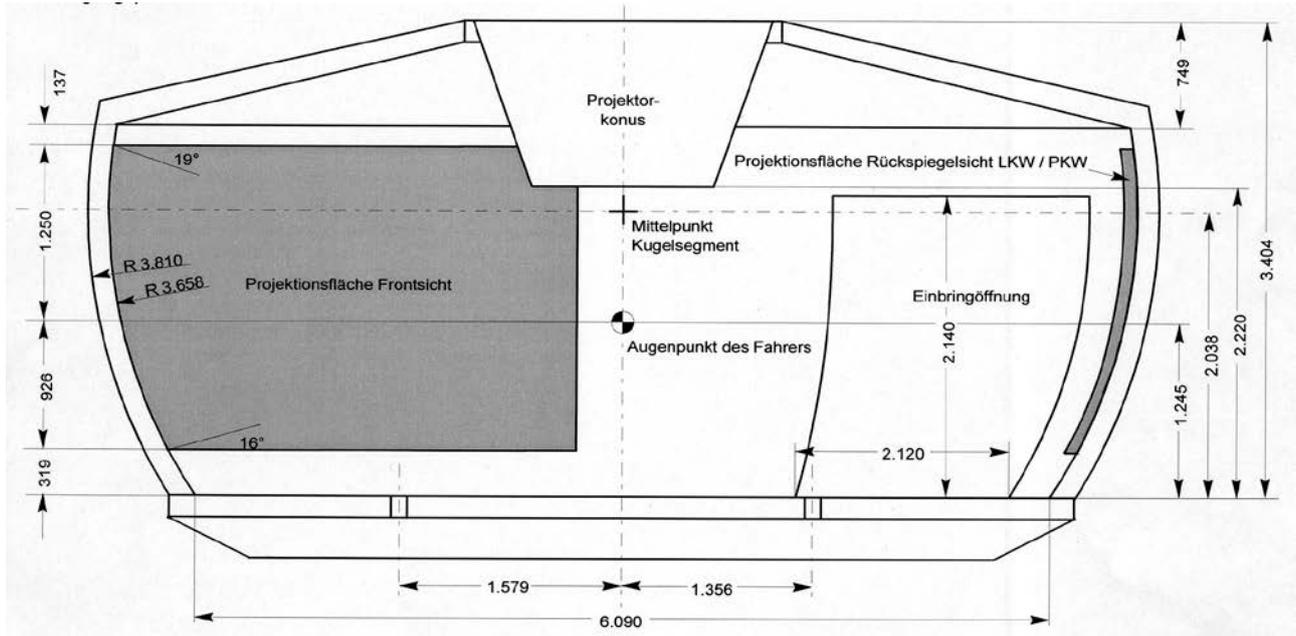


Abbildung 6. Maßskizze von Projektionsdom und Bewegungsplattform. Der Projektorkonus ist seit dem Austausch der Projektoren im Jahre 2004 in der hier gezeichneten Form nicht mehr vorhanden. Quelle: DaimlerChrysler AG, Abt. RBP/BD Fahrsimulator

Tabelle 3. Eigenschaften des Simulators zur Erzeugung der Newton-Kräfte. Quelle: DaimlerChrysler AG, Abt. RBP/BD Fahrsimulator

Teilsysteme →	Synergetisches 6-Bein System	Erweiterte Querbewegung
Aufbau	Stewart Plattform mit 6 unterstützenden Hydraulikzylindern, installiert auf einem Basisrahmen	Horizontaler Antrieb des linear geführten Basisrahmens mit langhubigem Hydraulikzylinder
Zylinderhub	1,75 m	5,6 m
Freiheitsgrade translatorisch	3; Längs-, Quer-, Hochrichtung	1; Querrichtung
Freiheitsgrade rotatorisch	3; Gieren, Nicken, Rollen	-
Plattform-Auslenkung längs	-1,88 m ... +1,38 m	-
Plattform-Auslenkung quer	-/+ 1,50 m	-/+ 2,30 m; $\Sigma = -/+ 3,80$ m
Plattform-Auslenkung hoch	-/+ 1,07 m	-
Plattform-Auslenkung Gieren	-/+ 47,4 Grad	-
Plattform-Auslenkung Nicken	-/+ 32,0 Grad	-
Plattform-Auslenkung Rollen	-/+ 30,0 Grad	-
Max. Verfahrensgeschwindigkeit translatorisch	1,0 m/s	4,0 m/s
Max. Verfahrenbeschleunigung translatorisch	1,2 g	0,7 g
Max. Drehgeschwindigkeit	25,0 Grad/s	-
Max. Drehbeschleunigung	200,0 Grad/s**2	-
Bandbreite der Bewegungssteuerung	3,0 Hz	5,0 Hz
Bewegte Masse	6.000 kg	18.000 kg



Abbildung 7. Der Arbeitsplatz der Fahrlehrerin und der Versuchsleiterin im Kontrollraum des Simulators

Aus der Sicht der Vp unterscheidet sich der Versuchswagen kaum von einem Serienfahrzeug der Mercedes-Benz E-Klasse, Baureihe 211. Er enthält die Head Unit APS50 mit Radio und Navigationssystem. Die für den Versuch benötigten technischen Einbauten sind wenig auffällig, teilweise aus der Fahrerposition überhaupt nicht sichtbar. Über ein im Fahrzeug fest eingebautes Mikrofon und die Fahrzeuglautsprecher hat die Vp ständigen Sprechkontakt mit den Personen im Kontrollraum, insbesondere mit dem technischen und dem wissenschaftlichen Versuchsleiter. Für die Registrierung der Blickbewegungen wird das System FaceLab 3.1 der Firma Seeing Machines, Canberra, Australien, eingesetzt. Der auffälligste Teil sind die beiden am oberen linken und rechten Rand der Tachometerkonsole angebrachten, auf den Kopf der Vp gerichteten Face-Lab Videokameras mit kleinen Infrarotleuchten, die auch in Abbildung 5 zu erkennen sind. Drei weitere Videokameras sind auf den Oberkörper der Vp, die Head Unit und die Pedalerie gerichtet. Die Pedalerie wird mit einer zusätzlichen kleinen Infrarotlichtquelle für die Videoaufnahme, unsichtbar für den Fahrer, ausgeleuchtet. Computer und Justiermonitor für das FaceLab-System befinden sich auf dem Rücksitz und sind mit Packgurten gegen die Fahrzeugbewegungen gesichert.

Jeder Fahrversuch wird in voller Länge auf Video-DVDs aufgenommen. In einem Kanalmischer werden dazu der frontale Kanal des Straßenbildes und die Videosignale des Oberkörpers der Vp, der Head-Unit, der Pedalerie und des simulatorerzeugten Tachometerbildes im Fahrzeug zusammgeführt. Die Fahrlehrerin verfolgt dieses zusammengesetzte Videobild an ihrem Arbeitsplatz im Kontrollraum (Abbildung 7) und gibt dabei ihre Sicherheits- und Fehlerurteile in ein Notebook ein. Links neben ihr befindet sich der Arbeitsplatz der wissenschaftlichen Versuchsleiterin. Außer diesen beiden Personen ist stets ein technischer Versuchsleiter anwesend, der die Simulatorfahrt startet und beendet, die Simulator-Hard- und Software überwacht und für die physische Sicherheit der Vp und der anderen beteiligten Personen während des Simulatorbetriebs verantwortlich ist.

5.4 Datentechnik

Die unabhängigen Variablen wurden allesamt in die Steuersoftware des Simulators eingearbeitet. Die Details werden unten unter *Material* und *Vorgehensweise* beschrieben. Die Eingabeinstruktionen wurden im Tonstudio bei MTO von einer Frau gesprochen und als *.wav-Dateien aufgezeichnet. Im Versuch wurden sie von der Simulatorsoftware an den im Versuchsplan festgelegten Fahrwegkoordinaten über die Fahrzeuglautsprecher ausgegeben.

Der Steuerrechner für die Simulatorfahrt schrieb eine Tabstop-separierte ASCII-Datei mit den wichtigsten Parametern der Simulation. Die Aufzeichnungsrate betrug 50 Messpunkte je Sekunde, das Abtastintervall war also 20 ms lang. Je ein Record dieser Datei gehört zu einem Zeitpunkt. Eine der Variablen ist ein Zähler für die 20-ms-Intervalle (experimentelle Echtzeit), drei weitere sind ein Zeitstempel mit Millisekundenauflösung. Am VI-Arbeitsplatz lag ein Kippschalter, dessen Zustand, *An* oder *Aus*, in einer Variablen fortlaufend aufgezeichnet wurde. Unter den weiteren Variablen befinden sich sowohl die relevanten Fahr- und objektiven Verhaltensparameter, als auch Größen, aus denen diese bei der nachfolgenden Auswertung berechnet werden können. Die komplette Variablenliste ist im Tabellenanhang wiedergegeben.

Die Echtzeit-Auswertung der Signale von den beiden Face-Lab-Videokameras, die an 60 Messpunkten pro Sekunde die Ausrichtung des Kopfes der Vp in Raumkoordinaten, die Richtung der Augenachse in Kopfkoordinaten und aus beidem eine Konzentrationsrichtung in Raumkoordinaten liefert, erfordert einen sehr hohen und zeitkritischen Rechenaufwand. Deshalb liefert der Hersteller zusammen mit dem System einen Dell Precision Small Desktop Computer mit Pentium IV-Prozessor und Windows XP-Betriebssystem aus. Dieser enthält die gesamte FaceLab-Software und darf im Experiment für keinen zusätzlichen Zweck verwendet werden. Dieser Rechner zeichnete während des gesamten Versuchs die FaceLab-Daten in einer Binärdatei auf, die ebenfalls einen Recordzähler und einen Zeitstempel für jedes Record enthielt. Physisch war er auf dem Rücksitz des Versuchsfahrzeugs im Simulatorraum untergebracht. Er war über Ethernet mit dem Datennetz der Simulatorstation verbunden. Mit dem Programmsystem NTP (Network Time Protocol) wurde der Zeitstempel mit demjenigen des Simulatorrechners synchronisiert. Ein Datenaustausch fand über diesen Netzanschluss jedoch nicht statt. Die FaceLab-Dateien wurden in den Versuchspausen auf Memory-Sticks übertragen und dann auf DVDs gesichert.

Ein dritter Rechner für die Datenaufzeichnung während des Versuchs war das Notebook der Fahrlehrerin. Ihre Eingaben wurden von einem Protokollierungsprogramm mit Zeitstempel versehen und in Excel-Dateien festgehalten. Dieser Rechner wurde von MTO in die Kooperation eingebracht. Aus Sicherheitsgründen war es nicht zulässig, ihn mit dem Rechnernetz der Simulatorstation zu koppeln und seine Zeitstempel über NTP mit den Zeitstempeln des Simulator- und des FaceLab-Rechners zu synchronisieren. Bei der Auswertung war es trotzdem möglich, die Dateien aller drei Rechner synchron zusammenzufügen. Für die Fahrlehrerdateien war das aber mit einem erheblichen manuellen Arbeitsaufwand verbunden. Wenn diese Experimente bei der Anwendung des I-TSA-Verfahrens wiederholt werden, sollten daher unbedingt alle Datenrechner über NTP synchronisiert sein.

Bei der Auswertung der Daten, insbesondere auch bei der Suche nach auffallenden Fahrfehlern und seltenen Ereignissen, ist die Videoaufzeichnung äußerst wertvoll. Sehr hilfreich ist es dabei, wenn die Videoframes selbst einen Zeitcode als Bildinhalt tragen. Im vorliegenden Falle war das nur ein Zeitcode in Minuten, Sekunden und Frame-Nummern ab Beginn der Aufzeichnung. Der Aufwand für das Einblenden des Zeitstempels der Steuer- und Registrierrechner als Bildinhalt zahlt sich aber bei der Auswertung aus.

5.5 Fahrweg

Der Fahrweg begann und endete mit leicht kurvigen Landstraßen (L1 nach Fastenmeier, 1995a, S. 49-50) in einem teilweise geringfügig hügeligen Gelände. Dazwischen gab es einen längeren Autobahnabschnitt (A2). Vor dem Übergang der Landstraße auf die Autobahn und nach dem Übergang der Autobahn zur Landstraße war eine Ortsdurchfahrt (C4) eingefügt. Einen Überblick gibt Abbildung 8.

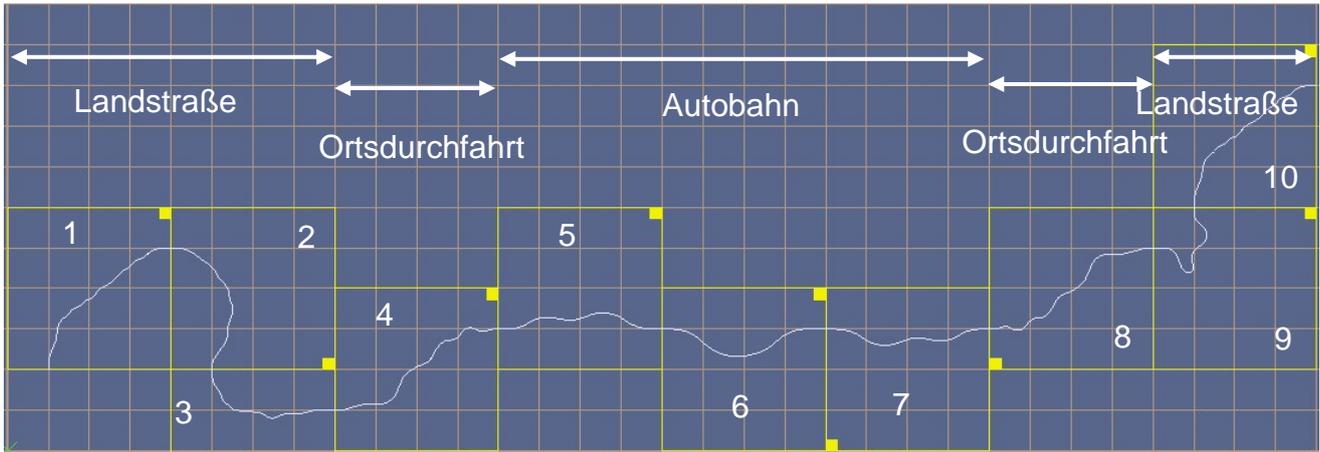


Abbildung 8. Der Fahrweg im Simulatorversuch. Die Nummern kennzeichnen die Streckenquadrate im Programm

Tabelle 4. Situationsbeschreibungen der Simulatorfahrt

Streckenquadrat Nr.	Situationsbeschreibung
1	Beginn Versuchsfahrt ohne Verkehr
1	Freie Fahrt Landstrasse, einsetzender Gegenverkehr mit ca. 2-3 Fahrzeugen/km. Aussetzen des Gegenverkehrs vor Ende des Abschnitts
1	Auffahren auf Führungsfahrzeug
1	Einsetzender Gegenverkehr mit ca. 2-3 Fahrzeugen/km
2	Gegenverkehr und Führungsfahrzeug
3	Gegenverkehr und Führungsfahrzeug
3	Führungsfahrzeug beschleunigt und verschwindet am Horizont
4	Beginn Ortsdurchfahrt
4	Gegenverkehr fährt 50km/h, Proband reduziert v auf 50km/h nach Ortsschild
4	3-4 Parkende Fahrzeuge stehen in der Parkbucht rechts, evtl. 2 Fahrzeuge in Parkbucht links (in Gegenrichtung). Vorderstes Fahrzeug in Parkbucht schert vor Probanden auf die Fahrspur ein und ignoriert den Probanden. Dieser wird zum Abbremsen gezwungen.(Keine Notbremsung)
4	Ampel steht auf grün. Ampel schaltet bei einem Abstand des Probanden von 45 m auf Gelb, 3 s später auf Rot. Proband soll vor der Ampel anhalten. Dauer der Rotphase 17 s.
4	Ampel steht auf Grün und bleibt grün
4	Führungsfahrzeug hält in Parkbucht an. (Eventuell leichte Anpassbremsung des Probanden erforderlich)
4	Ende Ortsdurchfahrt
4	freies Fahren. Gegenverkehr fährt mit 80km/h
5	Übergang auf Autobahn
5	Aufschließen auf Kolonne. Kolonnenverkehr auf rechter Fahrspur mit 70 km/h. Kolonnenverkehr auf linker Fahrspur mit 100 km/h
5	Folgefahrt Autobahn. Wechselnde Geschwindigkeit der Fahrzeugkolonnen. Rechte Kolonne fährt immer langsamer als linke Kolonne. Geschwindigkeitsprofil links zwischen 100 und 130km/h. Geschwindigkeitsprofil rechts zwischen 70 und 100km/h
6	Folgefahrt Autobahn. Konstante Geschwindigkeit der Fahrzeugkolonnen. Geschwindigkeitsprofil links 130km/h. Geschwindigkeitsprofil rechts 100km/h
6	Rechte und linke Kolonne bremsen auf 60km/h ab, beschleunigen wieder auf 100/130 km/h und bremsen danach bis zum Stand ab, um anschließend sofort wieder auf 100/130 km/h zu beschleunigen
7	Folgefahrt Autobahn. Konstante Geschwindigkeit der Fahrzeugkolonnen. Geschwindigkeitsprofil links 130km/h. Geschwindigkeitsprofil rechts 100km/h
7	Kolonnenverkehr auf rechter Fahrspur fällt zurück. Kolonnenverkehr auf linker Fahrspur fährt voraus und verschwindet am Horizont
7	Übergang auf Landstrasse

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung

Streckenquadrat Nr.	Situationsbeschreibung
8	Beginn Ortsdurchfahrt
8	Gegenverkehr fährt 50km/h, Proband reduziert v auf 50km/h nach Ortsschild
8	3-4 Parkende Fahrzeuge stehen in der Parkbucht rechts, evtl. 2 Fahrzeuge in Parkbucht links (in Gegenrichtung).
8	Ampel steht auf grün und bleibt grün
8	Ampel steht auf grün. Ampel schaltet bei einem Abstand des Probanden von 45 m auf Gelb, 3 s später auf Rot. Proband soll vor der Ampel anhalten. Dauer der Rotphase 17 s.
8	Führungsfahrzeug hält in Parkbucht an. Einscheren des parkenden Fahrzeuges. Eventuell leichte Anpassbremsung des Probanden erforderlich
8	Ende Ortsdurchfahrt
9	Freie Fahrt ohne Gegenverkehr und Führungsfahrzeug
9	Hundekurve
10	Freie Fahrt ohne Gegenverkehr und Führungsfahrzeug
10	Versuchsfahrt Ende

Die dynamischen Fahrsituationen der Simulatorfahrt werden in Tabelle 4 beschrieben. Auf den Landstraßenabschnitten gibt es freie Fahrt und eine längere, durch leicht kurvigen Straßenverlauf und Gegenverkehr erzwungene Folgefahrt. Auch auf der Autobahn wechseln freie Fahrt und erzwungene Folgefahrt miteinander ab. Die Folgefahrt verlangt verschiedene Bremsmanöver. Die eine der beiden Ortsdurchfahrten enthält das unerwartete Ausscheren eines parkenden Fahrzeugs zum Test der Notfallreaktion (Abbildung 9). In beiden Ortsdurchfahrten sind zwei Fußgängerampeln vorhanden, die bei der Annäherung des Probanden auf Grün stehen. Bei einer Entfernung der Vp von 45 m wechselt die eine davon in eine 3 s dauernde Gelbphase, der eine 17 s dauernde Rotphase folgt (Abbildung 10). Der abgebildete Fahrer hat sich nach einem kurzen Antippen der Bremse entschlossen, noch durchzufahren. Er hat die Ampel dann 0,62 s nach Beginn der Rotphase überfahren, also einen Fahrfehler der Stufe 2 begangen.



Abbildung 9. Das unerwartete Ausscheren eines parkenden Fahrzeugs in der Ortsdurchfahrt



Abbildung 10. Das Umschalten der Ampel bei der Annäherung der Vp

Tabelle 5. Abschnitte des Simulatorfahrwegs, Positionen der Warnschilder und Eingabeinstruktionen

Abschnittsnummer	Anfang, Beginn Instruktion	Schildposition	Schildnummer, Bedeutung	Abbruch Instruktion	Abschnitts-ende	Abschnitts-länge	Instruktion	Abschnitts-bezeichnung
A6	700	1200	125 Gegenverkehr	1800	2000	1800	Aus Speicher: „DaimlerChrysler“	Landstraße Anfang
A1	2000	2400	138 Radfahrer	4800	5000	3000	Ort: „Wiesbaden“	Landstraße lang
B1	5000	5400	140 Tiere	7800	8000	3000	Ort: „Dresden“	
A2	8000	8600	114 Schleudergefahr	10300	10500	2500	Ort: „Hamburg“	Landstraße kurz
B2	10500	11100	112 Unebene Fahrbahn	12800	13000	2500	Ort: „Köln“	
A3	13720	14220	136 Kinder	15320	15520	1800	Ziel: „Karlsruhe, Waldstraße“	Stadt I
A4	17500	18300	108 Gefälle	22550	22750	5250	Ziel: „Erfurt, Schillerstraße“	Autobahn lang/schnell
B4	22750	23550	142 Wild	27800	28000	5250	Ziel: „Offenburg, Rilkestraße“	
A5	28000	28700	----	29550	29750	1750	Ziel: „Bayreuth, Nordring“	Autobahn kurz/langsam
B5	29750	30450	----	31300	31500	1750	Ziel: „Bochum, Universitätsstraße“	
Stauauflösung	31500		----	----	33170	1670	----	
B3	35570	36075	133 Fußgänger	37170	37370	1800	Ziel: „Konstanz, Falkengasse“	Stadt II
A7	39900	40500	----	41700	41900	2000	Aus Speicher: - „Wannsee“	Hundekurve
B7	39900	40500	----	----	41900	2000	----	Hundekurve
B6	42170	42670	101 Gefahrenstelle	43970	44170	2000	Aus Speicher: „Planetarium“	Landstraße Ende

Anmerkung: Alle Positionen sind Weglängenkoordinaten ab Straßenanfang in m

Gemäß Versuchsplan wurde der gesamte Fahrweg in 14 Abschnitte aufgeteilt, die immer paarweise nach Straßentyp und dynamischer Verkehrssituation so gleichartig wie möglich waren. Die bei durchgehender Zählung ungeraden Paarlinge wurden mit A, die geraden mit B bezeichnet. Somit ergaben sich für alle Abschnitte die Bezeichnungen A1 bis B7. Ihre Grenzen wurden in Termini der Fahrstrecke definiert. Sie sind zusammen mit den Abschnittslängen in Tabelle 5 verzeichnet. Für Abschnitt 7, die *Hundekurve*, war eine Aufteilung auf zwei äquivalente Teile nicht möglich. Die Bezeichnungen A7 und B7 kennzeichnen hier das gleiche Straßenstück. Es wurde von je-

5.7 Versuchsablauf

Die Hauptversuche fanden in der Zeit vom 24. Juni bis zum 08. Juli 2004 statt. Den zeitlichen Ablauf für die einzelne Vp zeigt Tabelle 6.

Tabelle 6. Der Ablauf des Simulatorversuchs für die einzelne Vp

Ablaufpunkt	Ort	Dauer (min)
Begrüßung, Einführung	Vp-Zimmer	5
Fragebogen, 1. Teil	Vp-Zimmer	10
Einführung, Übung Navigationssystem	Vp-Zimmer	15
Justierung FaceLab	Simulator	15
Übungsfahrt ohne Navigationssystem	Simulator	5
Erste Fahrt, ungerade Vp-Nr. Fahrt A, gerade Vp-Nr. Fahrt B	Simulator	35
Pause, Wiedererkennenstest Warnschilder	Vp-Zimmer	35 ... 55
Zweite Fahrt, ungerade Vp-Nr. Fahrt B, gerade Vp-Nr. Fahrt A	Simulator	35
Fragebogen, RSME, Exploration, Abschlussgespräch	Vp-Zimmer	15
Summe Dauer		170 ... 190

Die knappe Ressource war die Simulatorzeit. Deshalb fanden alle nicht unbedingt an den Simulator gebundenen Versuchsschritte in einem von zwei Vp-Zimmern statt. Dazu gehörte auch eine viertelstündige Einweisungs- und Übungsphase mit dem Navigationssystem APS 50, von dem ein voll funktionsfähiges Gerät auf einem Arbeitstisch in einem der beiden Vp-Zimmer aufgebaut war. Ständig waren zwei Versuchsleiterinnen anwesend. Jede Vp wurde von einer Versuchsleiterin, die ihr während des gesamten Versuches zugeordnet blieb, durch alle Versuchsphasen begleitet. Die Tageszeiten waren für die einzelnen Vpn so gestaffelt, dass die Vp-Zimmer-Teile des Versuches einer Person gleichzeitig mit den Simulatoranteilen des Versuches einer zweiten Person ablaufen konnten. Dementsprechend hing die Länge der Pause für eine Vp davon ab, ob diese während der ersten oder der zweiten Simulatorfahrt der anderen Vp stattfand. Mit der Pausenlänge wurden auch Verzögerungen im Tagesablauf gegenüber dem Plan gepuffert. Eine etwas längere Pause zwischen den beiden Simulatorfahrten war schließlich eine gute, von vielen Vpn gewünschte und sehr geschätzte Vorbeugung gegen Simulatorübelkeit. In den Vp-Zimmern wurden Erfrischungsgetränke und Kaugummi gegen Übelkeit angeboten. Für Wartezeiten waren Zeitschriften ausgelegt.

Die Versuchsleiterin gab alle für den Versuchsablauf nötigen Anweisungen. Im Simulatorraum war sie bei der Einweisung der Vp und der Face-Lab-Justierung anwesend. Am Ende der Einweisung startete sie die FaceLab-Aufzeichnung auf dem FaceLab-Rechner im Fahrzeug und begab sich dann in den Kontrollraum. Hier hatte sie zunächst die Videoaufzeichnung zu starten. Danach kündigte der technische Versuchsleiter über Lautsprecher im Kontrollraum und im Fahrzeug den Fahrtbeginn an und setzte den Simulator in Bewegung. Die Versuchsleiterin verfolgte von da an die Fahrt am Monitor und gab die nötigen Anweisungen über die Sprechverbindung in das Fahrzeug. Dazu gehörten vor allem Fahrtbeginn und -ende sowie das Nachinstruieren bei Missverständnissen und das Beantworten aller Fragen. Die Versuchsleiterin achtete auf mögliche Zeichen von Simulatorübelkeit und reagierte entsprechend, notfalls mit der Instruktion zum Versuchsabbruch. Die Instruktionen zur Bedienung des Navigationssystems wurden aus der Simulatorsteuerung zu Beginn eines jeden Abschnittes mit Bedienung (s. Tabelle 5) über die Fahrzeuglautsprecher dargeboten. Sie waren auch im Kontrollraum zu hören. Um die Bedienungsphase bei langsamer Bedienung nicht in den Folgeabschnitt, der nach Versuchsplan ohne Bedienung zu fahren war, hineinziehen, wurde stets kurz vor Abschnittsende eine Abbruchinstruktion eingespielt. Die Versuchsleiterin markierte Anfang und Ende jeder beobachtbaren Bedienhandlung durch Betätigen eines Kippschalters, dessen Stellung mit Zeitstempel in die Protokolldatei geschrieben wurde. Nach

dem Ende jeder Fahrt stoppte die Versuchsleiterin erst im Kontrollraum die Videoaufzeichnung, dann im Fahrzeug die FaceLab-Aufzeichnung und begleitete die Vp für die nachfolgenden Versuchsteile in eines der Vp-Zimmer.

Die Fahrlehrerin beobachtete alle Simulatorfahrten auf dem Monitor an ihrem Arbeitsplatz neben dem der Versuchsleiterin im Kontrollraum und tippte ihre Beurteilungen fortlaufend in ein Notebook ein.

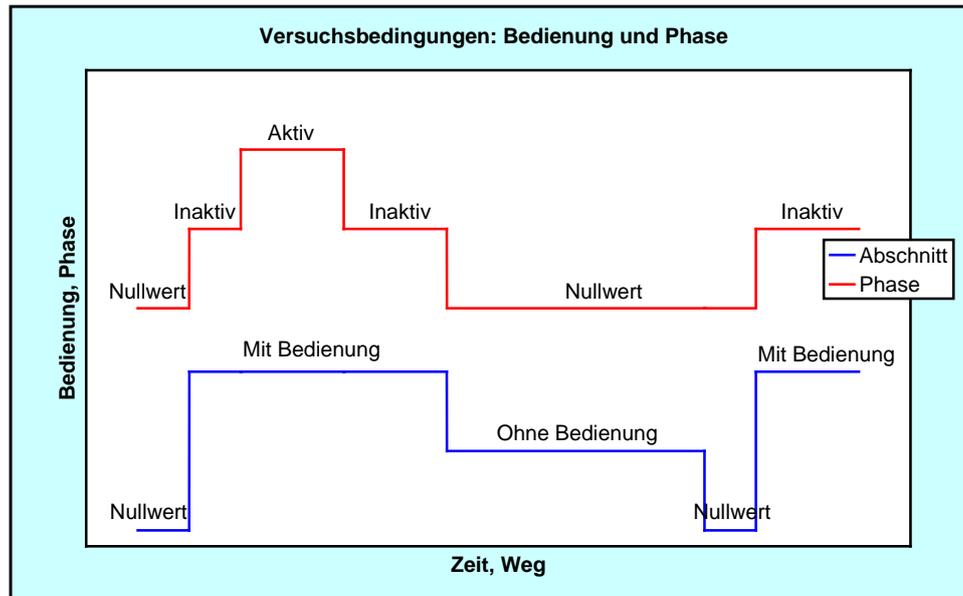


Abbildung 13. Abschnitte und Phasen im Experiment. Nähere Erläuterungen im Text

6.2 Die Struktur der statistischen Auswertung

Wir entschieden, die Daten soweit wie möglich mit SPSS, Versionen 12 und 13 englisch, auszuwerten. Dafür gab es mehrere Gründe. Bei einer Aufzeichnungsrate von 50 Messwerten pro Sekunde entsteht bei einem Record pro Messwert für einen insgesamt 2 Stunden dauernden Fahrversuch eine Datei mit 360.000 Records. Unsere Auswertungen haben teilweise über 200 Variablen. Auf neuen Rechnern mit Pentium IV Prozessor, über 2 GHz Taktfrequenz, 1 GByte Arbeitsspeicher sowie ausreichend großen und schnellen Festplatten (400 GByte) bewältigt SPSS Arbeitsdateien dieser Größe spielend und im Vergleich zu anderen Mathematik-, Matrizen- und Statistikprogrammen mit besonders kurzen Laufzeiten. Bei den ganz selten aufgetretenen Meldungen über unzureichenden Speicherplatz hat ein Lauf der Syntaxzeile `SET WORKSPACE 12000` stets Abhilfe geschaffen. Die Funktionalität von SPSS umfasst nicht nur alle nötigen statistischen Berechnungen, sondern auch viele wichtige und nützliche Routinen zur Behandlung von Messdaten in der Form von Zeitreihen, wie sie hier vorliegen. Zwischen der Auswertung oder der Programmierung im Bildschirmdialog und einer rein programmgesteuerten Auswertung kann jederzeit und blitzschnell gewechselt werden. Im Bildschirmdialog lassen sich die Daten leicht für alle möglichen Kontrollen und Überprüfungen graphisch darstellen und von Hand auskorrigieren, was vor allem bei den Daten aus dem Straßenversuch in beträchtlichem Umfang nötig war. Bei empirisch, vor allem verhaltenswissenschaftlich, gewonnenem Zahlenmaterial stellt sich immer wieder das Problem der *Missing data*, der ausgefallenen Zahlenwerte. Die Dateien enthalten hier entweder Leerschaltungen oder Voreinstellungs-Zahlenwerte, oft Nullen. SPSS erspart dem Nutzer den sonst nötigen, erheblichen Programmieraufwand zum Abfangen unerwünschter Auswirkungen solcher Zellen in den Datenmatrizen auf die Berechnungen. Schließlich kann SPSS seine Daten mit SQL-Abfragen aus Datenbanken auf Servern beziehen, wovon wir aber mangels hinreichend leistungsfähiger Netzverbindungen keinen Gebrauch gemacht haben.

Die Rohdaten des Simulatorversuchs lagen in Form von Semikolon-separierten ASCII-Dateien mit Gleitkommazahlen in Exponentendarstellung vor. Die Zahl der Records je Aufzeichnungssekunde war 50. Als Dezimalzeichen diente der Punkt. Die FaceLab-Dateien enthielten Tabstop-separierte Gleitkommazahlen und Labelvariablen im Stringformat. Die Aufzeichnungsrate betrug 60 Records pro Sekunde, das Dezimalzeichen war auch hier der Punkt. Die Fahrlehrerdateien waren in EXCEL aufgezeichnet und wurden dann als *.csv-Dateien ausgegeben, sie enthielten

ein Record je Tastendruck. Alle Dateien enthielten einen Zeitstempel, der es erlaubte, sie zu einer Datei mit synchronen Records zusammenzuführen. Die Dateinamen enthielten stets die zweistellige Vp-Nummer und den Buchstaben A oder B für den Fahrttyp.

In einem ersten Auswertungsschritt wurden alle Dateien einzeln in SPSS eingelesen. Dabei gab es Fehlerquellen, die hier mitgeteilt werden sollen. SPSS erwartet beim Einlesen von ASCII-Dateien dasjenige Dezimalzeichen, das der Ländereinstellung des Betriebssystems entspricht, also ein Komma, wenn das Betriebssystem auf *deutsch* steht. Im vorliegenden Falle musste WINDOWS auf *englisch* umgestellt werden. Beim Export von Daten wählt SPSS das Dezimalzeichen nach der gleichen Regel: es schreibt ein Komma, wenn WINDOWS auf *deutsch* eingestellt ist und einen Punkt bei *englisch*. Eine von SPSS *deutsch* geschriebene ASCII-Datei kann SPSS unter *englisch* also nicht lesen. Das gilt auch in umgekehrter Richtung. SPSS-interne Dateien, vor allem die Datendateien *.sav, sind gegen dieses Problem jedoch immun. Sie sind immer miteinander kompatibel, ohne Rücksicht darauf, bei welcher Ländereinstellung sie geschrieben oder gelesen wurden.

Ein tückisches Problem war das folgende. Beim Einlesen von Semikolon-separierten Dateien der hier vorliegenden Länge stellt sich SPSS offenbar auf die Maximallänge der einzelnen Zahlen bis zu einer bestimmten Anzahl von Records ein. Wird diese Zahlenlänge später in der Datei um ein Zeichen überschritten, etwa durch das Hinzutreten des Minuszeichens, schneidet SPSS die letzte Stelle des Exponenten ab. Je nach dessen Vorzeichen tauchen also plötzlich Werte in einer verzehnfachten oder durch zehn geteilten Größenordnung auf. Zur Abhilfe haben wir in jede dieser ASCII-Dateien vor dem Einlesen in SPSS als ersten Record eine Dummyzeile mit den 15-stelligen Zahlen „-1.0000000e+000“ eingefügt und nach dem Einlesen wieder gelöscht.

Nach dem Einlesen in SPSS wurden einzelne Variablen von Hand bereinigt. Hatte beispielsweise der VI den Kippschalter zur Registrierung der aktiven Phase in der Simulatordatei zum falschen Zeitpunkt betätigt und dies im Handprotokoll vermerkt, so wurde die entsprechende Variable jetzt in der Datei am Bildschirm korrigiert. In Versuchen dieser Art gibt es immer wieder Daten, die aus der Auswertung herausgenommen werden müssen, etwa weil sich die Vp inadäquat verhalten haben, der VI einen Fehler gemacht hat oder technische Fehler aufgetreten sind. Beim Auskorrigieren der Dateien wurden die entsprechenden Zeitabschnitte durch Setzen einer Variablen *datok* („Daten ok“) gekennzeichnet.

Werden für verschiedene Teile des Experimentes verschiedene Rechner benutzt, so haben die Zeitstempel oft unterschiedliches Format. So war es auch hier; der eine Rechner schrieb die Greenwich-Zeit im Format hh:mm:ss:sss, der andere die Millisekunden seit der vergangenen Mitternacht. Die Zeitstempel aller Dateien wurden also in dieser Bearbeitungsstufe auf das gleiche Format recodiert. Die Simulatordateien enthielten außer dem Zeitstempel noch eine experimentelle Echtzeit, die in ganzzahligen 20-ms-Schritten, beginnend bei 0, die Records von Beginn der Aufzeichnung an zählte. Da der Beginn der Aufzeichnung nur in einem losen Zusammenhang mit dem Straßenpunkt und der Zeit des Fahrtbeginns stand, haben wir diese Werte so in eine neue experimentelle Echtzeit umgerechnet, dass das Passieren des ersten Verkehrsschildes, des Streckenpunktes 1200 m, zum Zeitpunkt 0 wurde. Außerdem wurden auf der Basis dieses synchronisierenden Ereignisses drei Variablen für Minuten, Sekunden und Einzelbild-Nummer des zu jedem Punkt der Echtzeit gehörenden Bildes in der Videoaufzeichnung berechnet. Zwischen der experimentellen Echtzeit und dem Zeitstempel der Simulatordatei stellte sich eine während der Fahrt entstehende, von Person zu Person unterschiedliche Drift in der Größenordnung von etwa einer Sekunde heraus. Da die experimentelle Echtzeit der Zusammenführung der drei Dateien zugrunde gelegt werden sollte, wurde der Zeitstempel in allen Dateien mit einer jeweils fahrt- und personenspezifischen linearen Regressionsgleichung um diese Drift korrigiert.

Wie oben dargelegt, konnte das Fahrlehrer-Notebook nicht über NTP mit dem Simulator- und dem FaceLab-Rechner synchronisiert werden. Deshalb wurden die Eingaben des Sicherheitsur-

teils über den jeweils gerade zu Ende gefahrenen Streckenabschnitt als synchronisierende Ereignisse verwendet. Die personenspezifische, durchschnittliche Differenz zwischen ihren Zeitstempeln in der Fahrlehrerdatei und den zugehörigen Echtzeiten in der Simulatordatei wurde als Korrekturwert bei der Synchronisierung verwendet.

Der mit diesem Korrekturwert adjustierte Zeitstempel jedes einzelnen Records der Fahrlehrerdateien und der regressionskorrigierte Zeitstempel in den FaceLab-Dateien wurden nun in Maßzahlklassen mit einer Breite von 20 ms und einer ganzzahlig durch 20 ms teilbaren Maßzahlklassenmitte umgerechnet. Da die FaceLab-Datei 60 Messungen pro Sekunde aufwies, fielen dabei in durchschnittlich einem Fünftel aller Maßzahlklassen zwei Records an. Mit einer einfachen Routine in SPSS wurden solche überzähligen Records gelöscht, so dass schließlich in jeder 20-ms-Maßzahlklasse genau eine Messung übrigblieb. Damit war in einer einfachen Weise die FaceLab-Datei auf 50 Hz umgerechnet. Auf der Basis dieser Maßzahlklassenmitten ließen sich dann die Dateien mit der Funktion *Merge Files Add Variables* in SPSS problemlos synchronisiert zusammenfügen. Die Variablenliste der resultierenden Datei ist als Tabelle 38 im Tabellenanhang abgedruckt. Sie enthält auch alle für die weitere Auswertung innerhalb der Personen und Fahrten berechneten Variablen.

Die von uns übernommene Verfahrensspezifikation (IVI & TUD, 2005, S. A/I-1) definiert Fehlerstufen zu den einzelnen Fahrparametern in einem Tabellenwerk. Wir geben diese Tabellen in den folgenden Ergebnisdarstellungen immer zusammen mit den zugehörigen Fahrparametern wieder. Unsere Fehlerstufenrechnung folgte einem einheitlichen Grundprinzip, das von demjenigen aus AP 3100, wie in Kapitel 4.3.1 begründet, erheblich abwich. Es wird in Abbildung 14 veranschaulicht.

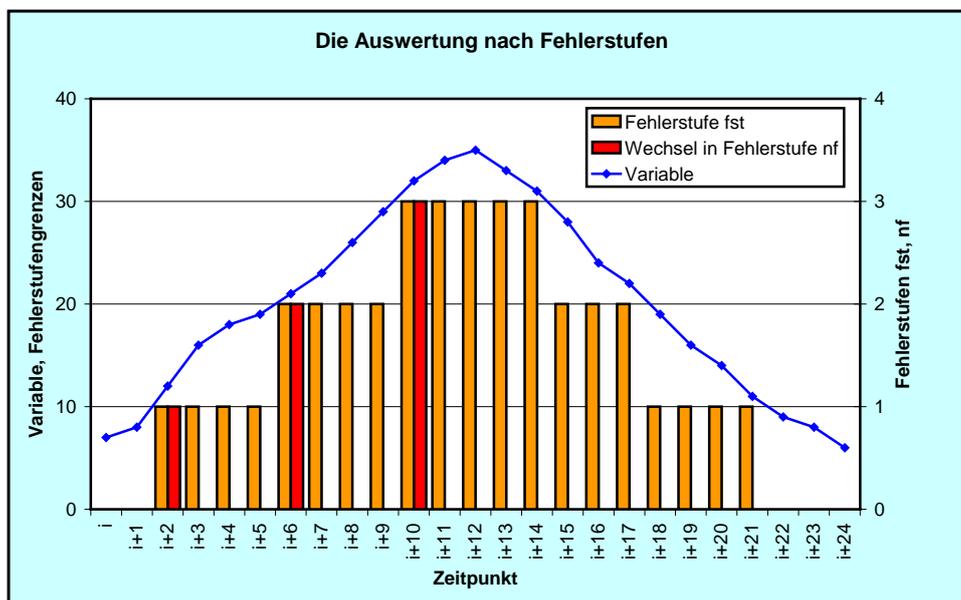


Abbildung 14. Das Grundprinzip der Fehlerstufenauswertung

Der blaue Kurvenzug zeigt den angenommenen Verlauf eines Fahrparameters, etwa der Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit in Prozent. Jede Raute bedeutet einen der Zahlenwerte im 20-ms-Abstand. Die Verfahrensspezifikation legt für diesen Fehler die Stufengrenzen bei 10 %, 20 % und 30 % fest. Die Fehlerstufenvariable f_{st_xx} ordnet jedem Messwert seine Fehlerstufe {0, 1, 2, 3} zu, wie es die hellbraunen Balken in Abbildung 14 zeigen. Bleibt der Fahrparameter unterhalb der niedrigsten Stufengrenze, ist sein Fehlerstufenwert 0. Mit einer der Zeitreihenfunktionen von SPSS werden dann die Aufwärtssprünge der Fehlerstufenvariablen f_{st_xx} gesucht. Für genau die Messpunkte, bei denen die Fehlerstufe höher ist als für den vorangehenden Messpunkt,

wird die die Änderungsvariable nf_{xx} auf den Wert der Fehlerstufe gesetzt. Für alle anderen Messpunkte behält sie den Wert 0. Für beliebig definierbare Abschnitte der Fahrt können nun die Häufigkeitsverteilungen von fst_{xx} und nf_{xx} ausgezählt werden. Die Häufigkeiten von $fst_{xx} = 1$, $fst_{xx} = 2$ und $fst_{xx} = 3$ sind ein Maß für die Dauer, die der entsprechende Fahrfehler anhielt. Die Häufigkeitsverteilungen von $nf_{xx} = 1$, $nf_{xx} = 2$ und $nf_{xx} = 3$ geben die Anzahl der entsprechenden Fehlerepisoden wieder. Abbildung 14 zeigt dementsprechend eine Episode mit Fehlerstufe 1, die sich über 8 Messpunkte erstreckt, eine Episode mit Fehlerstufe 2 über 7 Messpunkte hinweg und eine Episode mit Fehlerstufe 3 und 5 Messpunkten. Als eine Episode zählt immer eine Folge von gleichen Fehlerstufen, die entweder überhaupt nicht unterbrochen sind, oder sich nach der Unterbrechung durch eine höhere Fehlerstufe fortsetzen. In Abbildung 14 bilden also die vier Messpunkte in Fehlerstufe 1 vor der Fehlerstufe 2 und die vier Messpunkte nach dem letzten Messwert mit Fehlerstufe 2 zusammen eine Episode. Entsprechendes gilt für die ersten vier und letzten drei Messpunkte der Fehlerstufe 2. Diese Definition von Episode ist einfach und zweckmäßig. Sie hat keine widersprüchlichen oder schwer überschaubaren Konsequenzen, weil bei allen Fahrfehlern, bei denen die Dauer eine Rolle spielt, Streckenabschnitte mit einer höheren Fehlerstufe naturgesetzlich in Streckenabschnitte mit einer niedrigeren Fehlerstufe geschachtelt sind.

Die Berechnungen nach diesem Schema wurden auf den zusammengeführten Personen-Fahrt-Dateien *VPxx_A/B-05.sav* mit einem Programm in SPSS-Syntaxcode ausgeführt. Die Einzelheiten werden unten im Ergebnisteil zusammen mit den Besonderheiten für jeden Fahrparameter angegeben. Die Dateien haben bis zu diesem Stand der Auswertung das Format Zeitpunkte x Variablen. Für jede Fahrt jeder Person liegt eine eigene Datei vor. Wegen der großen Zahl gemessener Zeitpunkte haben diese Dateien zwischen etwa 120.000 (Simulatorversuch) und 400.000 (Straßenversuch, s. u.) Records. Im nächsten Auswerteschritt werden die Fehlerdauern und die Fehleranzahlen für die einzelnen Personen und Fahrten getrennt nach den Versuchsbedingungen ausgezählt. Das Ergebnis ist eine Personen x Variablen x Versuchsbedingungen-Matrix. SPSS hat für diese Aufgabe leistungsfähige *Aggregate Data*-Funktionen. Wegen der Größe der Ausgangsdateien haben wir es aber vorgezogen, dafür ein eigenes Programm in C++ zu schreiben.

Die folgenden Ergebnisse enthalten überall, wo dies sinnvoll ist, eine Auswertung nach Fehlerdauer und nach Fehleranzahl. Die Werte werden stets nach den dargestellten Regeln berechnet. Ein mögliches Problem soll nicht unerwähnt bleiben. Die wichtigsten unabhängigen Variablen, Fahren ohne oder mit der Instruktion, eine Adresse in das Navigationssystem einzugeben, und die Beobachtung der inaktiven und aktiven Phase des Vp-Verhaltens bei der Befolgung der Instruktion, verteilen sich auf einzelne Abschnitte des Fahrwegs. Bei der statistischen Auswertung werden Fehlerdauer und Fehlerzahl deshalb nach Fahrwegabschnitten getrennt ausgezählt. Fehlerepisoden, die sich über Abschnittsgrenzen hinweg erstrecken, werden bei dieser Auswertung zerrissen. Das hat keinen Einfluss auf die Auszählung der Fehlerdauer, diese geht anteilig in die Abschnitte ein. Bei der Auszählung der Episoden werden jetzt aber aus den beiden getrennten Teilen einer Episode zwei neue Episoden, eine in jedem Abschnitt. Deshalb kann die Summe der Fehlerzahlen zweier getrennt ausgewerteter Teilabschnitte geringfügig größer sein als die Fehlerzahl des zugehörigen Gesamtabschnittes. Wir haben darauf verzichtet, dies mit einem relativ komplizierten Auswertalgorithmus abzufangen.

Die Personen- x Variablen- x Versuchsbedingungen-Matrix ist schließlich die Grundlage für die Berechnung statistischer Kenngrößen über die Personen hinweg, in der Regel Mittelwerten, mit SPSS. Für die Signifikanztests werden Varianzanalysen verwendet. Die Tabellenausgabe von SPSS wird schließlich mit EXCEL in ein handliches Tabellenformat und graphische Darstellungen überführt.

6.3 Die Einzelergebnisse

6.3.1 Versuchsdauer

Abbildung 15 gibt die Fahrdauer in Sekunden *ohne* und *mit Bedienung* wieder. Die Zeit für die Abschnitte *mit Bedienung* ist die Summe der Zeiten für die *inaktive* und die *aktive Phase*. Die Gesamtdauer jeder Fahrt ist gleich der Summe aus der Dauer *ohne Bedienung* und *mit Bedienung*.

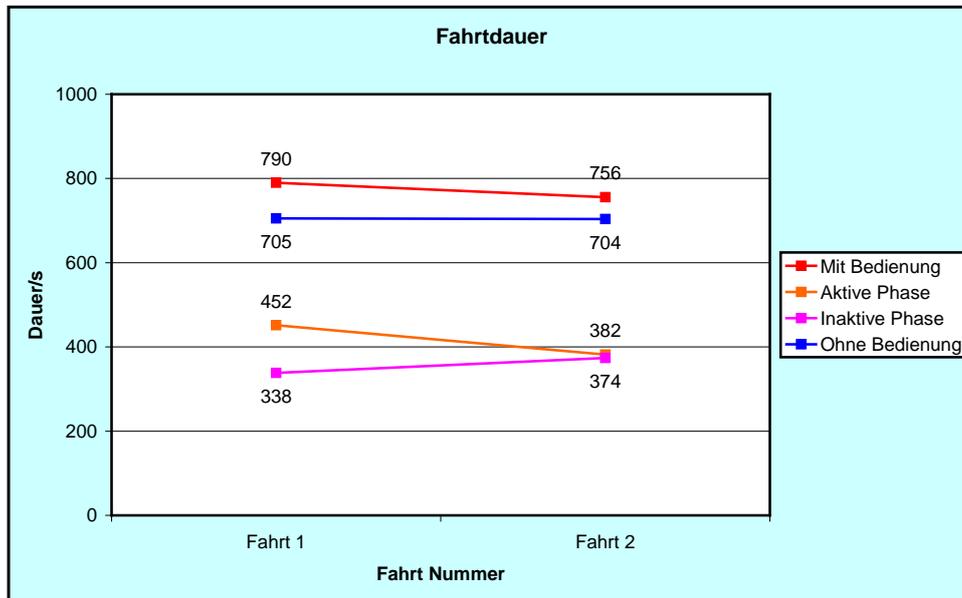


Abbildung 15. Die Dauer der Fahrtteile in Sekunden ohne und mit Bedienung

6.3.2 Überschreiten der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit

Nach IVI & TUD (2005, S. A/I-1, Auswertung S. 130)

Fahrfehler	Überschreiten der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit
Situation	Begrenzung durch Beschilderung oder allgemeine Regeln
Indikatoren/Messvariablen	Eigene Geschwindigkeit Vorgeschriebene Höchstgeschwindigkeit
Technische Anforderungen	Geschwindigkeitsmessung (Genauigkeit +/- 5 %) Positionsbestimmung (GPS, Genauigkeit +/- 10 m) Koordinaten der Bereiche mit Geschwindigkeitsbegrenzung (Genauigkeit +/- 10 m)
Existierende Kriterien (Referenz)	Fehler, wenn Überschreitung > 10 % (Brookhuis, 1995) Fehler, wenn Überschreitung > 20 % (Reichart, 2001) Fehler, wenn Überschreitung > 10km/h (Fastenmeier, 1995) Diverse Überschreitungsstufen (Bußgeldkatalog)
Verfahrenskriterium	$vueproz = (vkmh - vgrenzkmh) \cdot 100 / vgrenzkmh$ <p>Mit</p> <p><i>vueproz</i> Geschwindigkeitsüberschreitung [%] <i>vkmh</i> Gefahrene Geschwindigkeit [km/h] <i>vgrenzkmh</i> Maximal erlaubte Geschwindigkeit [km/h]</p>
Fehlerstufe	0 wenn $vueproz < 10 \%$ 1 wenn $(vueproz \geq 10 \%) \ \& \ (vueproz < 20 \%)$ 2 wenn $(vueproz \geq 20 \%) \ \& \ (vueproz < 30 \%)$ 3 wenn $vueproz \geq 30 \%$

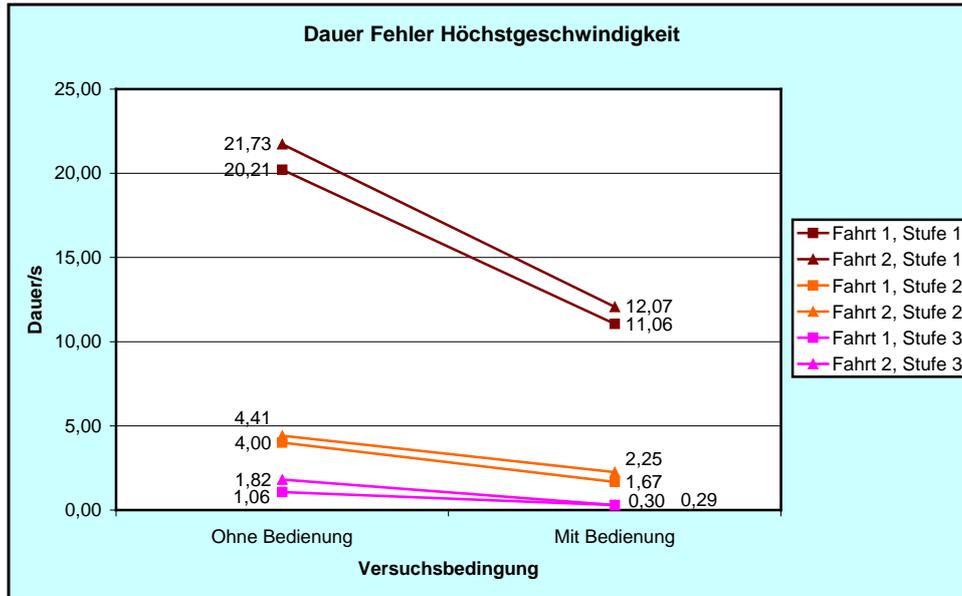


Abbildung 16. Gesamtdauer der Fehler Überschreiten der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit (Sekunden), Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

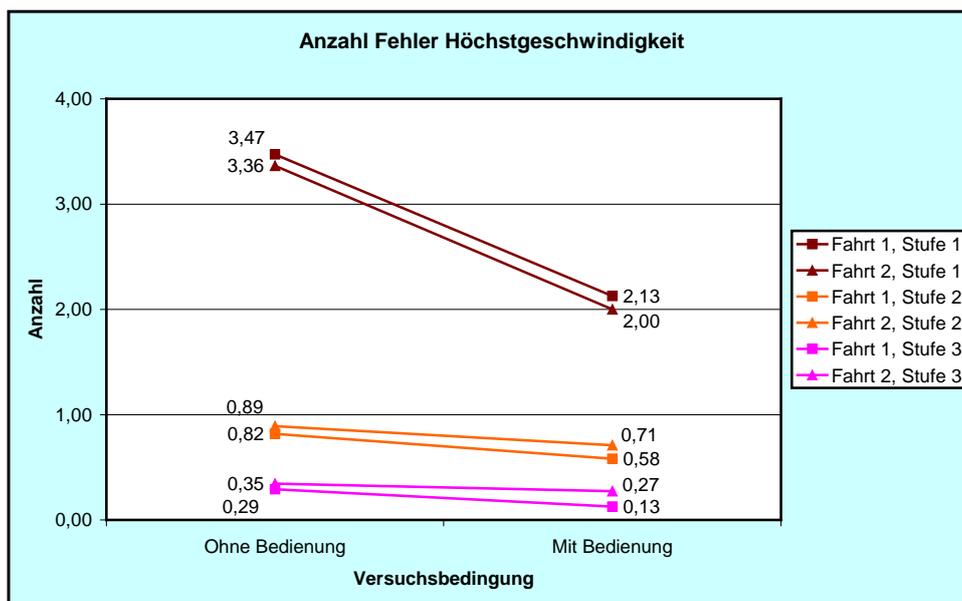


Abbildung 17. Anzahl der Fehler Überschreiten den vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

Interpretation

Sowohl die Dauer als auch die Anzahl der Fehler der Stufe 1, *Überschreiten der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit um weniger als 10 %*, waren in Abschnitten *mit Bedienung* deutlich und hoch signifikant geringer als in Abschnitten *ohne Bedienung* ($p < 0,01$; Abbildung 16 und Abbildung 17). So reduzierte sich die durchschnittliche Fehlerdauer um beinahe die Hälfte von 21 s auf 11,6 s und die Fehleranzahl von 3,4 auf 2 (gemittelt jeweils über Fahrt 1 und Fahrt 2). Auch die a priori sehr viel selteneren Fehler der Stufen 2 und 3 verminderten sich unter Bedieninstruktion, die Unterschiede erreichten aber nur das 5 %-Signifikanzniveau oder waren, wie bei der

Variablen *Anzahl Fehler*, *Fehlerstufe 3*, nicht signifikant. Diese zumindest bei den leichten Geschwindigkeitsübertretungen massive Fehlerreduktion beruht darauf, dass die Vpn die Zusatzbelastung durch das Bedienen des Navigationssystems während der Fahrt durch eine vorsichtigeren, d. h. in diesem Fall langsamere Fahrweise, zu kompensieren versuchen.

Auf der anderen Seite ist der Unterschied zwischen erster und zweiter Fahrt nicht signifikant. Die Vpn zeigen offensichtlich bei der zweiten Fahrt weder mehr noch weniger Geschwindigkeitsübertretungen, in der Kontroll- wie in der Versuchsbedingung. Ein nennenswerte Übungs- oder Ermüdungseffekt tritt zwischen beiden Fahrten offenbar nicht auf. Desgleichen ist die Wechselwirkung zwischen Versuchsbedingung und Fahrt vernachlässigbar. Bei keiner Fehlerstufe findet sich eine signifikante Wechselwirkung. Dies ist ein Befund, der sich bei nahezu allen Variablen sowohl im Simulator- als auch im Straßenversuch zeigt. Auf eine Wechselwirkung soll daher, wenn überhaupt, nur in den seltenen Fällen explizit eingegangen werden, in denen sie zumindest das 5 %-Signifikanzniveau erreicht.

Signifikanztests

Geschwindigkeit (v) Fehlerdauer						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	88151580	1	88151580	0,60	0,4413	0,0110
Error(Fahrt)	7912168320	54	146521636			
Bedingung	4868263682	1	4868263682	38,91	0,0000	0,4188
Error(Bedingung)	6756339018	54	125117389			
Fahrt * Bedingung	3507856	1	3507856	0,04	0,8517	0,0007
Error(Fahrt * Bedingung)	5368508444	54	99416823			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	13343056	1	13343056	0,65	0,4219	0,0120
Error(Fahrt)	1100173244	54	20373579			
Bedingung	278347507	1	278347507	6,30	0,0151	0,1044
Error(Bedingung)	2386786793	54	44199755			
Fahrt * Bedingung	383056	1	383056	0,02	0,8836	0,0004
Error(Fahrt * Bedingung)	956403244	54	17711171			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	7670756	1	7670756	1,05	0,3104	0,0191
Error(Fahrt)	394970244	54	7314264			
Bedingung	72117825	1	72117825	4,68	0,0349	0,0798
Error(Bedingung)	831472775	54	15397644			
Fahrt * Bedingung	7881316	1	7881316	1,19	0,2809	0,0215
Error(Fahrt * Bedingung)	358669684	54	6642031			
Geschwindigkeit (v) Fehleranzahl						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	0,768	1	0,768	0,31	0,5795	0,0057
Error(Fahrt)	133,482	54	2,472			
Bedingung	100,914	1	100,914	57,16	0,0000	0,5142
Error(Bedingung)	95,336	54	1,765			
Fahrt * Bedingung	0,005	1	0,005	0,00	0,9622	0,0000
Error(Fahrt * Bedingung)	108,245	54	2,005			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	0,550	1	0,550	0,77	0,3849	0,0140
Error(Fahrt)	38,700	54	0,717			
Bedingung	2,405	1	2,405	4,35	0,0417	0,0746
Error(Bedingung)	29,845	54	0,553			
Fahrt * Bedingung	0,041	1	0,041	0,06	0,8058	0,0011
Error(Fahrt * Bedingung)	36,209	54	0,671			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	0,550	1	0,550	1,83	0,1814	0,0328
Error(Fahrt)	16,200	54	0,300			
Bedingung	0,768	1	0,768	2,08	0,1554	0,0370
Error(Bedingung)	19,982	54	0,370			
Fahrt * Bedingung	0,114	1	0,114	0,64	0,4284	0,0117
Error(Fahrt * Bedingung)	9,636	54	0,178			

6.3.3 Längsabstand zu gering für eigene Geschwindigkeit

Nach IVI & TUD (2005, S. A/I-5, Auswertung S. 135)

Fahrfehler	Längsabstand zu gering für eigene Geschwindigkeit
Situation	Folgefahren (vorausfahrendes Fahrzeug mit etwa gleicher Geschwindigkeit)
Indikatoren/Messvariablen	Zeitlicher Abstand (time headway)
Technische Anforderungen	Geschwindigkeitsmessung (Genauigkeit +/- 2,5 %) Abstandsmessung (Genauigkeit +/- 2 m)
Existierende Kriterien (Referenz)	Fehler, wenn zeitlicher Abstand < 0,7 s (Brookhuis, 1995) Optimaler zeitlicher Abstand > 1,8 s; entspricht „½ Tacho“ (Inoffizielle Faustregel)
Verfahrenskriterium	$\text{Time headway: } th = d / v$ <p>Mit</p> <p>th Zeitlicher Abstand (time headway) zum vorausfahrenden Fahrzeug [s]</p> <p>d Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug [m]</p> <p>v Geschwindigkeit des eigenen Fahrzeugs [m/s]</p>
Fehlerstufe	0 wenn $th > 1,7$ s 1 wenn $(th \leq 1,7 \text{ s}) \ \& \ (th > 1,2 \text{ s})$ 2 wenn $(th \leq 1,2 \text{ s}) \ \& \ (th > 0,7 \text{ s})$ 3 wenn $th \leq 0,7$ s

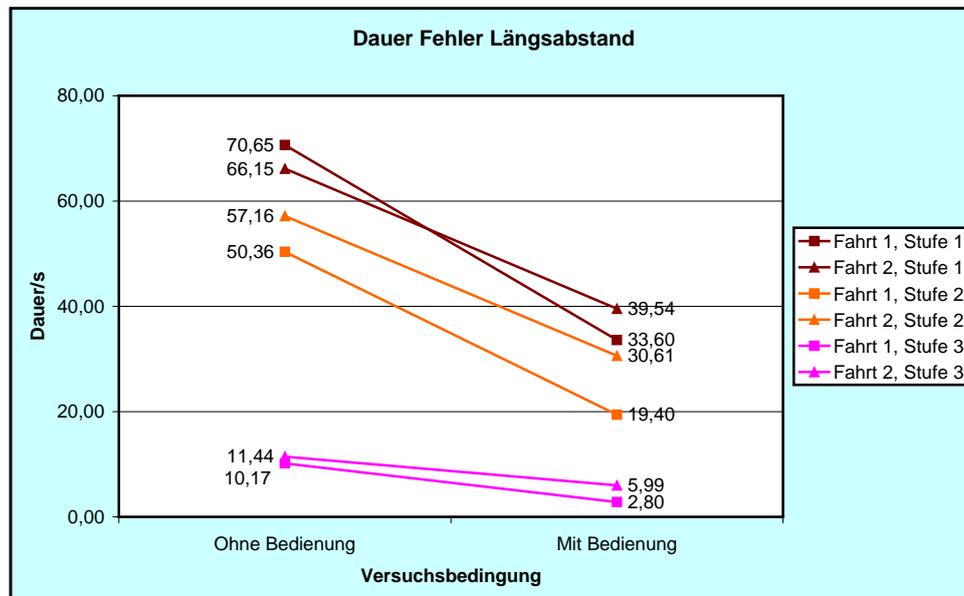


Abbildung 18. Gesamtdauer der Fehler Längsabstand zu gering für eigene Geschwindigkeit, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

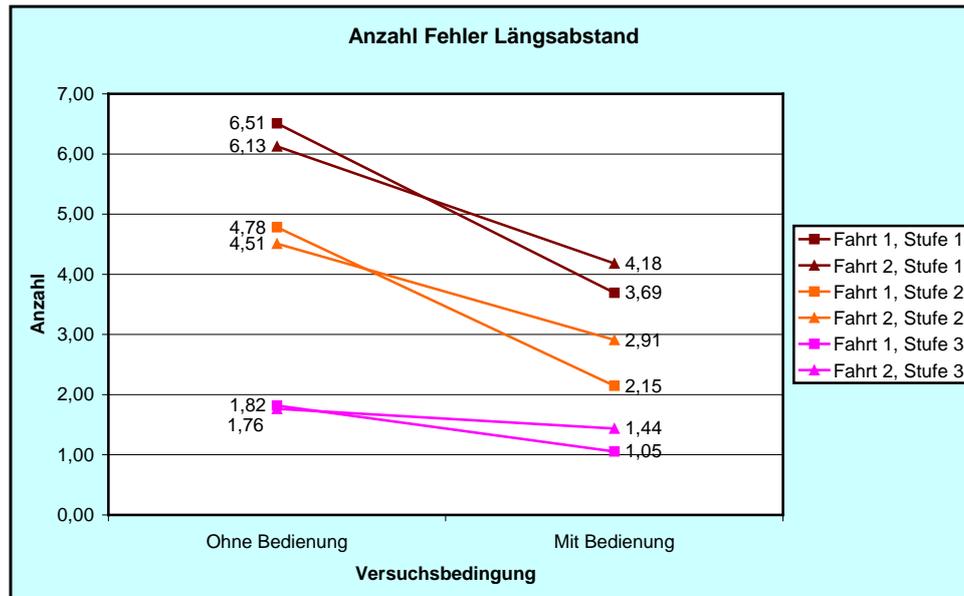


Abbildung 19. Anzahl der Fehler Längsabstand zu gering für eigene Geschwindigkeit, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

Interpretation

Die Variable *Längsabstand* bzw. *Time headway* (*th*) kann nur dann erhoben werden, wenn sich ein anderes Fahrzeug auf der Spur des Versuchsfahrzeugs befindet. Wir wählten als Grenze, bis zu der wir ein Fahrzeug als „vorausfahrend“ definierten, einen Abstand von nicht mehr als 300 Metern. Zudem sollte die Geschwindigkeit des Versuchsfahrzeugs größer als 1 m/s sein. Letzteres erschien nötig, um den Längsabstand nicht in Fällen zu berechnen, in denen die Fahrzeuge nur im Schrittempo hintereinander fahren oder sogar stehen (z. B. an einer Ampel). Die Situation, dass das Versuchsfahrzeug überholte oder von einem anderen Fahrzeug überholt wurde und sich beim Einscheren kurzfristig ein sehr geringer Längsabstand ergab, kam beim Simulatorversuch praktisch nie vor und wurde daher bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

Obwohl die Variable *Längsabstand* nicht während der gesamten Versuchszeit, sondern nur für definierte Situationen erhoben wurde, wurde die Fehlerdauer in Abbildung 18 nicht auf die Zeiten relativiert, in denen die Variable gemessen wurde, sondern beinhaltet die Gesamtdauer des Fehlers während der Simulatorfahrt. Dies schien vertretbar, da die Simulatorfahrten sowohl in der Dauer als auch im Ablauf für alle Vpn praktisch gleich waren.

Auf allen Fehlerstufen findet sich sowohl bei der über alle Vpn gemittelten Anzahl als auch bei der Dauer der Variablen *Längsabstand zu gering für eigene Geschwindigkeit* eine massive Reduktion unter Bedieninstruktion (Abbildung 18 und Abbildung 19). Bis auf eine Ausnahme (*Fehlerdauer, Fehlerstufe 3*) erreichen alle Unterschiede zwischen *ohne* und *mit Bedienung* das 1 %-Signifikanzniveau. Am ausgeprägtesten ist der Unterschied bei der *Anzahl Fehler, Fehlerstufe 1 oder 2*, wo sich die Werte von 6,3 bzw. 4,7 auf 3,9 bzw. 2,5 Fehler verringerten (gemittelt über Fahrt 1 und 2). Wie schon bei der Variablen *Übertreten der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit* wird offensichtlich während der Eingabe in das Navigationssystem eine deutlich vorsichtiger Fahrweise gewählt, was in diesem Fall das Einhalten eines größeren Sicherheitsabstands zum vorausfahrenden Fahrzeug bedeutet.

Signifikanztests

Längsabstand (th) Fehlerdauer						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	28699507	1	28699507	0,02	0,8945	0,0003
Error(Fahrt)	87341911193	54	1617442800			
Bedingung	55718096816	1	55718096816	54,14	0,0000	0,5006
Error(Bedingung)	55575957884	54	1029184405			
Fahrt * Bedingung	1498348816	1	1498348816	1,88	0,1763	0,0336
Error(Fahrt * Bedingung)	43098097884	54	798112924			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	4461122102	1	4461122102	2,99	0,0895	0,0525
Error(Fahrt)	80548086698	54	1491631235			
Bedingung	45477614029	1	45477614029	32,47	0,0000	0,3755
Error(Bedingung)	75638372371	54	1400710599			
Fahrt * Bedingung	267433425	1	267433425	0,39	0,5352	0,0072
Error(Fahrt * Bedingung)	37072785775	54	686533070			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	272707289	1	272707289	1,07	0,3054	0,0194
Error(Fahrt)	13751312611	54	254653937			
Bedingung	2260614765	1	2260614765	5,66	0,0209	0,0949
Error(Bedingung)	21567116735	54	399391051			
Fahrt * Bedingung	50745616	1	50745616	0,19	0,6618	0,0036
Error(Fahrt * Bedingung)	14167644684	54	262363790			
Längsabstand (th) Fehleranzahl						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	0,164	1	0,164	0,02	0,8883	0,0004
Error(Fahrt)	443,336	54	8,210			
Bedingung	312,018	1	312,018	42,28	0,0000	0,4392
Error(Bedingung)	398,482	54	7,379			
Fahrt * Bedingung	10,473	1	10,473	2,24	0,1400	0,0399
Error(Fahrt * Bedingung)	252,027	54	4,667			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	3,314	1	3,314	0,39	0,5354	0,0072
Error(Fahrt)	459,936	54	8,517			
Bedingung	246,768	1	246,768	39,60	0,0000	0,4231
Error(Bedingung)	336,482	54	6,231			
Fahrt * Bedingung	14,768	1	14,768	2,54	0,1166	0,0450
Error(Fahrt * Bedingung)	313,482	54	5,805			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	1,473	1	1,473	0,48	0,4918	0,0088
Error(Fahrt)	166,027	54	3,075			
Bedingung	16,364	1	16,364	7,67	0,0077	0,1244
Error(Bedingung)	115,136	54	2,132			
Fahrt * Bedingung	2,618	1	2,618	0,54	0,4657	0,0099
Error(Fahrt * Bedingung)	261,882	54	4,850			

6.3.4 Längsabstand zu gering für Differenzgeschwindigkeit

Nach IVI & TUD (2005, S. A/I-6, Auswertung S. 139)

Fahrfehler	Längsabstand zu gering für Differenzgeschwindigkeit
Situation	Annäherung an vorausfahrendes Fahrzeug Einscherendes fremdes Fahrzeug
Indikatoren/Messvariablen	Minimale Annäherungsdistanz Time-to-collision (<i>ttc</i>) Time-integrated <i>ttc</i> (<i>tit</i>)
Technische Anforderungen	Geschwindigkeitsmessung (Genauigkeit +/- 2,5 %) Abstandsmessung (Genauigkeit +/- 2 m)
Existierende Kriterien (Referenz)	Kritisch, wenn $ttc < 4,0$ s (Hirst et al., 1997; Minderhoud et al., 2001)
Verfahrenskriterium	$Time\text{-to-collision: } ttc = d / (v - vv)$ <p>Mit</p> <p><i>ttc</i> Time-to-collision [s]</p> <p><i>d</i> Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug [m]</p> <p><i>v</i> Geschwindigkeit des eigenen Fahrzeugs [m/s]</p> <p><i>vv</i> Geschwindigkeit des vorausfahrenden Fahrzeugs [m/s]</p>
Fehlerstufe	0 wenn $ttc > 4,0$ s 1 wenn $(ttc \leq 4,0 \text{ s}) \ \& \ (ttc > 3,0 \text{ s})$ 2 wenn $(ttc \leq 3,0 \text{ s}) \ \& \ (ttc > 2,0 \text{ s})$ 3 wenn $ttc \leq 2,0$ s

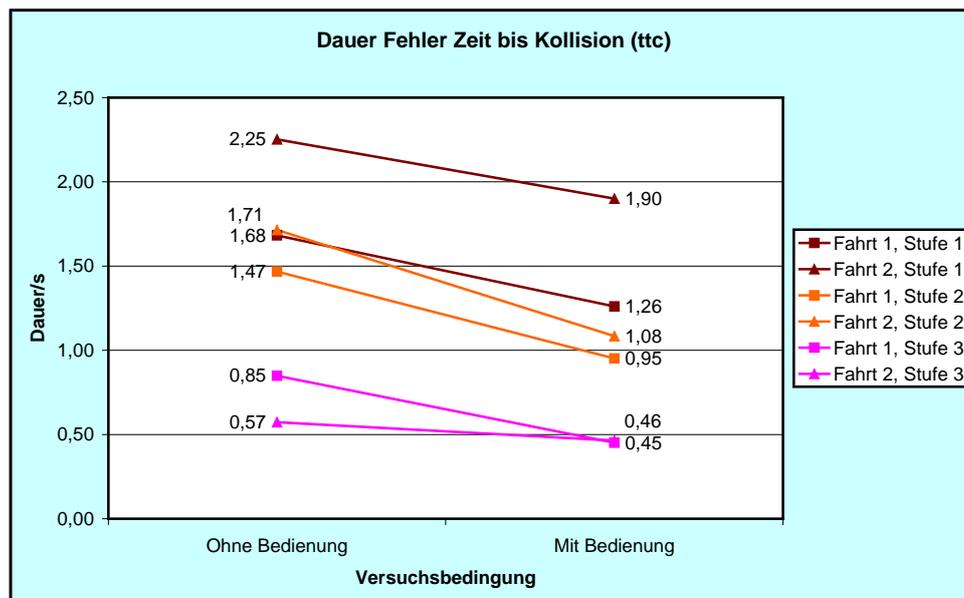


Abbildung 20. Gesamtdauer der Fehler Längsabstand zu gering für die Differenzgeschwindigkeit, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

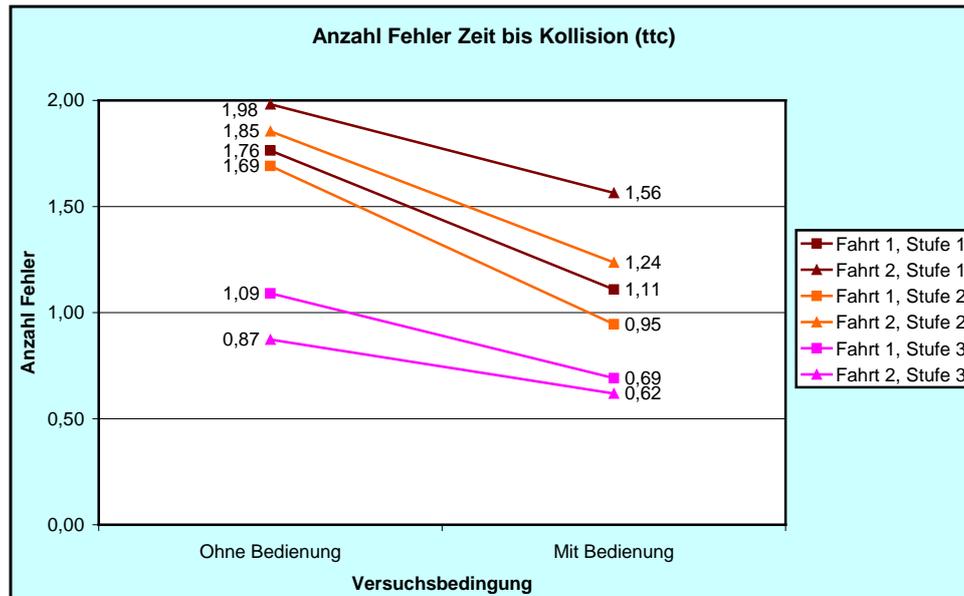


Abbildung 21. Anzahl der Fehler Längsabstand zu gering für die Differenzgeschwindigkeit, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

Interpretation

Für die Berechnung der Variablen *Time-to-collision (ttc)*, d. h. der Zeit, die das Versuchsfahrzeug bei konstanter Geschwindigkeitsdifferenz benötigen würde, um mit dem vorausfahrenden Fahrzeug zu kollidieren, gelten die gleichen Voraussetzungen wie für die Messung der Variablen *Time headway (th)* des vorangegangenen Abschnitts (Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug höchstens 300 m und Geschwindigkeit des Versuchsfahrzeugs > 1m/s). Obwohl die Erhebung der Fehlerdauer bei der Variablen *ttc* fraglich erscheint, da es sich hierbei a priori um kurz dauernde Episoden handeln muss, wurde sie in die Berechnungen aufgenommen.

Abbildung 20 und Abbildung 21 zeigen auch bei dieser Längsführungsvariablen eine deutliche Reduktion der Fehler unter Bedieninstruktion. Besonders ausgeprägt ist diese bei der Fehleranzahl: Alle drei Fehlerstufen zeigen während der Bedienung des Navigationssystems eine deutliche, signifikante Verminderung der Fehler ($p < 0,01$). Auffallend ist, dass bei Fehlerstufe 1 in beiden Abbildungen auch die Variable *erste/zweite Fahrt* einen signifikanten Einfluss zeigt: Während der zweiten Fahrt werden offensichtlich mehr *ttc*-Fehler gemacht. Dieses riskantere Heranfahren an das Vorausfahrzeug dürfte eine Wirkung größerer Übung mit der Simulatorfahrt sein.

Da die Messung der Fehlerdauer bei *ttc* eher problematisch erscheint, verwundert es nicht, dass deren Veränderung unter Bedieninstruktion deutlich weniger ausgeprägt ist (Abbildung 20) als die der Fehleranzahl: Nur bei Fehlerstufe 1 und 2 ist *mit Bedienung* die Fehlerdauer signifikant kürzer. Auch die Effektgrößen sind deutlich geringer als bei der Fehleranzahl.

Signifikanztests

Längsabstand (ttc) Fehlerdauer						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	20125325	1	20125325	7,35	0,0090	0,1198
Error(Fahrt)	147828175	54	2737559			
Bedingung	8225689	1	8225689	5,45	0,0234	0,0916
Error(Bedingung)	81553011	54	1510241			
Fahrt * Bedingung	64947	1	64947	0,03	0,8606	0,0006
Error(Fahrt * Bedingung)	112709353	54	2087210			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	1977907	1	1977907	1,13	0,2917	0,0206
Error(Fahrt)	94214593	54	1744715			
Bedingung	18029456	1	18029456	14,98	0,0003	0,2171
Error(Bedingung)	65010644	54	1203901			
Fahrt * Bedingung	180409	1	180409	0,10	0,7550	0,0018
Error(Fahrt * Bedingung)	99058891	54	1834424			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	942545	1	942545	1,54	0,2201	0,0277
Error(Fahrt)	33073455	54	612471			
Bedingung	3512909	1	3512909	3,99	0,0508	0,0688
Error(Bedingung)	47538291	54	880339			
Fahrt * Bedingung	1152029	1	1152029	2,23	0,1411	0,0397
Error(Fahrt * Bedingung)	27881971	54	516333			
Längsabstand (ttc) Fehleranzahl						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	6,223	1	6,223	4,23	0,0447	0,0726
Error(Fahrt)	79,527	54	1,473			
Bedingung	15,823	1	15,823	17,46	0,0001	0,2444
Error(Bedingung)	48,927	54	0,906			
Fahrt * Bedingung	0,768	1	0,768	0,63	0,4313	0,0115
Error(Fahrt * Bedingung)	65,982	54	1,222			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	2,841	1	2,841	2,46	0,1228	0,0435
Error(Fahrt)	62,409	54	1,156			
Bedingung	25,568	1	25,568	23,53	0,0000	0,3035
Error(Bedingung)	58,682	54	1,087			
Fahrt * Bedingung	0,223	1	0,223	0,22	0,6390	0,0041
Error(Fahrt * Bedingung)	54,027	54	1,001			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	1,164	1	1,164	1,54	0,2202	0,0277
Error(Fahrt)	40,836	54	0,756			
Bedingung	5,891	1	5,891	7,38	0,0088	0,1202
Error(Bedingung)	43,109	54	0,798			
Fahrt * Bedingung	0,291	1	0,291	0,53	0,4703	0,0097
Error(Fahrt * Bedingung)	29,709	54	0,550			

6.3.5 Unsicheres Spurhalten und Spur verlassen

Unsicheres Spurhalten nach IVI & TUD (2005, S. A/I-9)

Fahrfehler	Unsicheres Spurhalten
Situation	Fahrspur folgen
Indikatoren/Messvariablen	(1) Lenkwinkel: Standardabweichung (2) Spurposition: Standard-Deviation-of-Lane-Position (<i>sdlp</i>) (3) Time-to-Line-Crossing (<i>tlc</i>)
Technische Anforderungen	Zu (1): Lenkwinkelmessung Zu (2) und (3): Spurverfolgung
Existierende Kriterien (Referenz)	Zu (1): Fehler, wenn Standardabweichung Lenkwinkel $> 1,5^\circ$ (Brookhuis, 1995) Zu (2): Fehler, wenn $sdlp > 0,25$ m (Brookhuis, 1995) Zu (3): Fehler, wenn $tlc < 1,1$ s (Verwey, 2001, S. 420) Zu (3): Fehler, wenn tlc_{min} für rechte Spur $< 1,3$ s Fehler, wenn tlc_{min} für linke Spur $< 1,7$ s Fehler, wenn tlc_{med} für rechte Spur $< 3,1$ s Fehler, wenn tlc_{med} für linke Spur $< 4,0$ s (Brookhuis, 1995; Reichart, 2001)
Verfahrenskriterien	(2) Standard-Deviation-of-Lane-Position: <i>sdlp</i> (3) Time-to-Line-Crossing: $tlc = \frac{x_q}{v \cdot \sin \psi}$ Mit <i>tlc</i> Time-to-line-crossing [s] <i>x_q</i> Querabweichung zur Fahrstreifenbegrenzung [m] <i>v</i> Geschwindigkeit des Fahrzeugs [m/s] <i>ψ</i> Gierwinkel (Winkel Fahrzeuglängsachse zur Fahrstreifenmitte)
Fehlerstufe <i>SDLP</i>	0 wenn $sdlp \leq 0,25$ m 1 wenn $(sdlp > 0,25 \text{ m}) \ \& \ (sdlp \leq 0,35 \text{ m})$ 2 wenn $(sdlp > 0,35 \text{ m}) \ \& \ (sdlp \leq 0,5 \text{ m})$ 3 wenn $sdlp > 0,5$ m
Fehlerstufe <i>TLC</i>	0 wenn $tlc \geq 1,3$ s 1 wenn $(tlc < 1,3 \text{ s}) \ \& \ (tlc \geq 0,9 \text{ s})$ 2 wenn $(tlc < 0,9 \text{ s}) \ \& \ (tlc \geq 0,3 \text{ s})$ 3 wenn $tlc < 0,3$ s

Spur verlassen nach IVI & TUD (2005, S. A/I-10, Auswertung S. 150)

Fahrfehler	Spur verlassen (absichtlich oder unabsichtlich)
Situation	Fahrspur folgen
Indikatoren/Messvariablen	Position relativ zur Fahrspur (Ablage)
Technische Anforderungen	Spurverfolgung
Existierende Kriterien (Referenz)	Fehler, wenn Spurverlassen für mehr als 0,25 s (Nowakowski, 2000)
Verfahrenskriterium	<i>Überfahren der Spurbegrenzung mit der Außenkontur des Fahrzeugs (Berechnung aufgrund der Fahrdaten im Simulatorversuch)</i>
Fehlerstufe	0 wenn Abweichung $\leq 0,1$ m 1 wenn (Abweichung $> 0,1$ m) & (Abweichung $\leq 0,25$ m) 2 wenn (Abweichung $> 0,25$ m) & (Abweichung $\leq 0,5$ m) 3 wenn Abweichung $> 0,5$ m

Zeit bis Rand links (tlc-li)

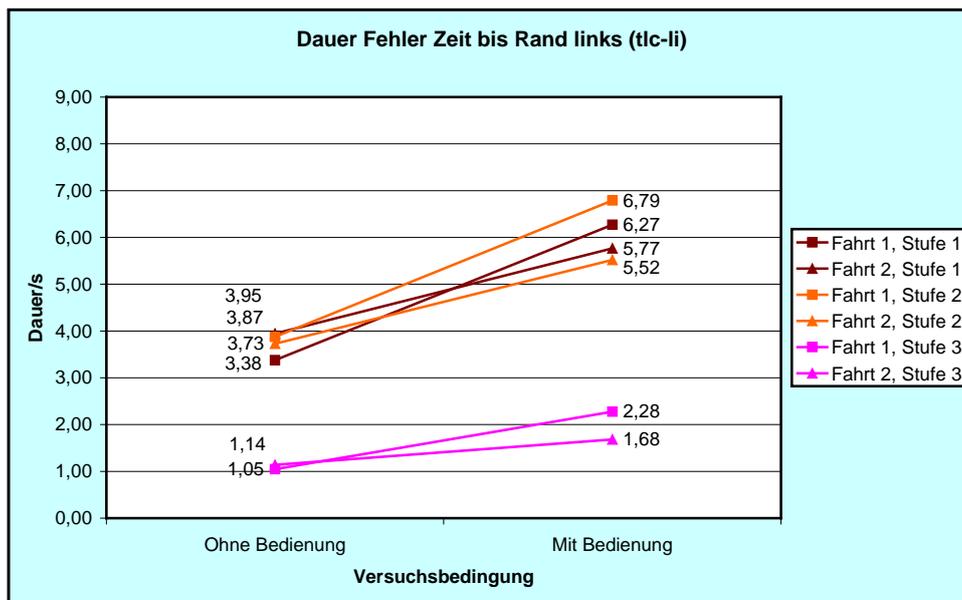


Abbildung 22. Gesamtdauer der Fehler Zeit bis zum Rand links (tlc-li), Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

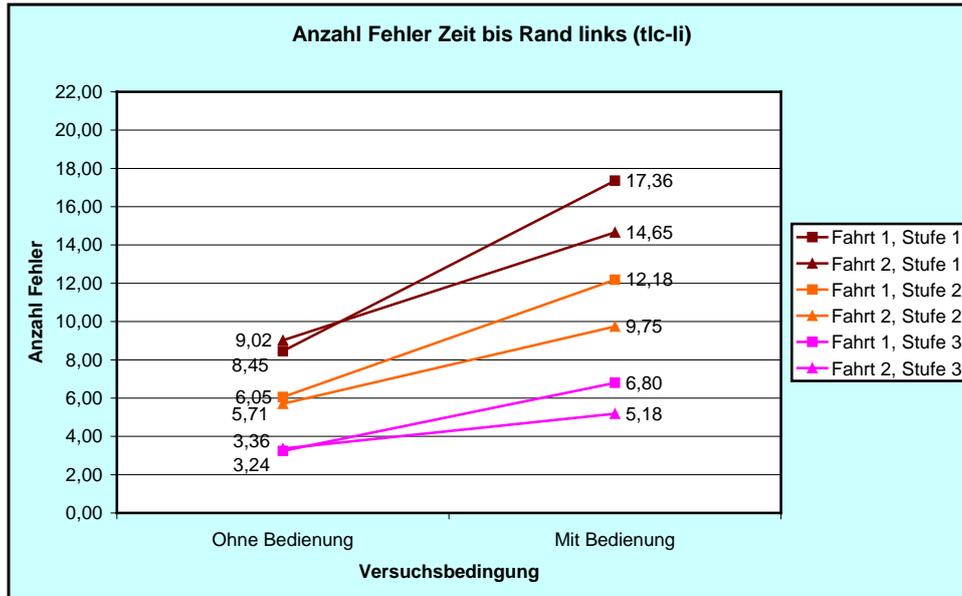


Abbildung 23. Anzahl der Fehler Zeit bis zum Rand links (tlc-li), Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

Zeit bis Rand rechts (tlc-re)

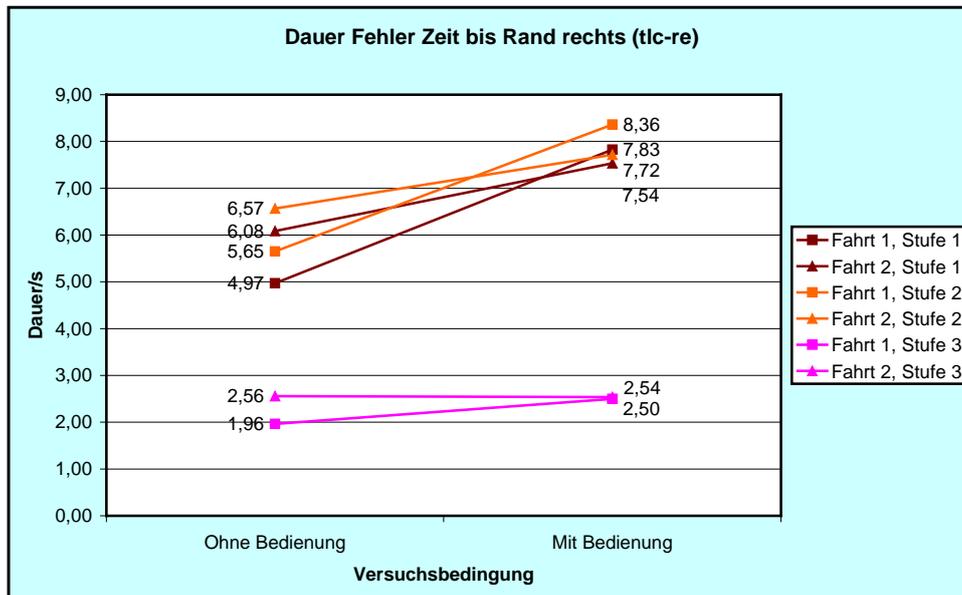


Abbildung 24. Gesamtdauer der Fehler Zeit bis zum Rand rechts (tlc-re), Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

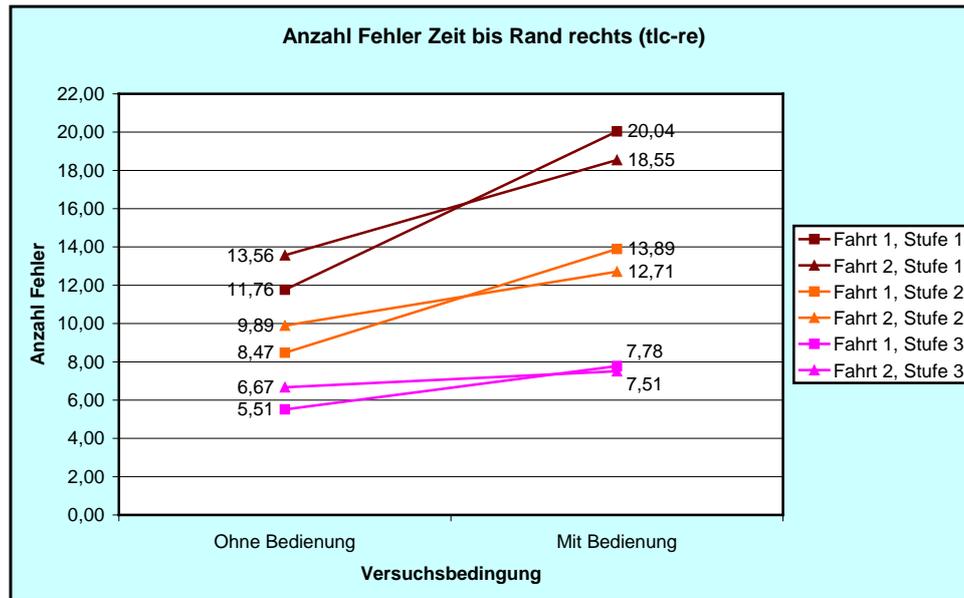


Abbildung 25. Anzahl der Fehler Zeit bis zum Rand rechts (*tlc-re*), Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

Interpretation

Als eines der Maße für die Qualität der Spurhaltung wurde *tlc* (*time-to-line-crossing*), d. h. die Zeit, die beim Beibehalten des Gierwinkels bis zum Verlassen der Fahrspur verstreichen würde, verwendet. Je kürzer diese Zeitspanne ist, umso schlechter ist die Spurhaltung. Die einzelnen Fehlerstufen für *tlc* wurden getrennt für die rechte und die linke Fahrspur ausgewertet. Sowohl die Zeit bis zum Fahrspurrand links (*tlc-li*) als auch die Zeit bis zum Fahrspurrand rechts (*tlc-re*) zeigten eine deutliche Verschlechterung des Fahrverhaltens unter Bedieninstruktion, wobei sich wiederum die stärksten Effekte bei den niedrigsten Fehlerstufen ergaben. So erhöhte sich die *Fehleranzahl, Fehlerstufe 1* für die Zeit bis zum Fahrspurrand links von 8,7 auf 16,0 (Abbildung 23), was beinahe einer Verdoppelung entspricht, und für die Zeit bis zum Fahrspurrand rechts von 12,7 auf 19,0 (Abbildung 25). Nicht nur bei diesem Zahlenbeispiel waren die Effekte für die linke Straßenseite ausgeprägter als für die rechte, sondern es zeigte sich generell eine stärkere Verschlechterung der Spurhaltung unter Bedieninstruktion für die linke verglichen mit der rechten Fahrspurahälfte (Unterschied *s.*, $p < 0,01$). Auch korrelieren beide Maße nur wenig miteinander. Es empfiehlt sich daher, bei Sicherheitsuntersuchungen dieser Art die Spurhaltung links und rechts getrennt auszuwerten.

Signifikanztests

Zeit bis Rand links (tlc-li)

Zeit bis Rand links (tlc-li) Fehlerdauer						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	56320	1	56320	0,01	0,9322	0,0001
Error(Fahrt)	416098080	54	7705520			
Bedingung	306044865	1	306044865	55,50	0,0000	0,5068
Error(Bedingung)	297779935	54	5514443			
Fahrt * Bedingung	15887156	1	15887156	4,80	0,0329	0,0816
Error(Fahrt * Bedingung)	178853244	54	3312097			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	27555362	1	27555362	2,71	0,1056	0,0478
Error(Fahrt)	549336138	54	10172891			
Bedingung	304866547	1	304866547	34,87	0,0000	0,3924
Error(Bedingung)	472138153	54	8743299			
Fahrt * Bedingung	17304045	1	17304045	3,59	0,0634	0,0624
Error(Fahrt * Bedingung)	260172655	54	4818012			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	3447507	1	3447507	3,47	0,0678	0,0604
Error(Fahrt)	53609593	54	992770			
Bedingung	43103929	1	43103929	25,05	0,0000	0,3169
Error(Bedingung)	92901971	54	1720407			
Fahrt * Bedingung	6474125	1	6474125	8,53	0,0051	0,1364
Error(Fahrt * Bedingung)	40996575	54	759196			
Zeit bis Rand links (tlc-li) Fehleranzahl						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	63,291	1	63,291	1,79	0,1870	0,0320
Error(Fahrt)	1913,209	54	35,430			
Bedingung	2909,091	1	2909,091	65,04	0,0000	0,5464
Error(Bedingung)	2415,409	54	44,730			
Fahrt * Bedingung	147,273	1	147,273	6,94	0,0110	0,1139
Error(Fahrt * Bedingung)	1146,227	54	21,226			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	106,405	1	106,405	5,55	0,0222	0,0932
Error(Fahrt)	1035,845	54	19,182			
Bedingung	1420,368	1	1420,368	50,93	0,0000	0,4854
Error(Bedingung)	1505,882	54	27,887			
Fahrt * Bedingung	60,114	1	60,114	4,38	0,0411	0,0750
Error(Fahrt * Bedingung)	741,136	54	13,725			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	30,564	1	30,564	4,46	0,0394	0,0762
Error(Fahrt)	370,436	54	6,860			
Bedingung	398,255	1	398,255	22,74	0,0000	0,2963
Error(Bedingung)	945,745	54	17,514			
Fahrt * Bedingung	41,891	1	41,891	6,01	0,0175	0,1002
Error(Fahrt * Bedingung)	376,109	54	6,965			

Zeit bis Rand rechts (tlc-re)

Zeit bis Rand rechts (tlc-re) Fehlerdauer						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	9377165	1	9377165	1,10	0,2999	0,0199
Error(Fahrt)	462098935	54	8557388			
Bedingung	255098227	1	255098227	24,04	0,0000	0,3080
Error(Bedingung)	573129873	54	10613516			
Fahrt * Bedingung	27160409	1	27160409	2,78	0,1013	0,0490
Error(Fahrt * Bedingung)	527621691	54	9770772			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	1020002	1	1020002	0,08	0,7757	0,0015
Error(Fahrt)	671458698	54	12434420			
Bedingung	205178416	1	205178416	22,43	0,0000	0,2934
Error(Bedingung)	494069484	54	9149435			
Fahrt * Bedingung	33477602	1	33477602	2,29	0,1362	0,0406
Error(Fahrt * Bedingung)	790164698	54	14632680			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	5479447	1	5479447	3,37	0,0720	0,0587
Error(Fahrt)	87877153	54	1627355			
Bedingung	3645556	1	3645556	2,26	0,1384	0,0402
Error(Bedingung)	87025844	54	1611590			
Fahrt * Bedingung	4245062	1	4245062	1,34	0,2516	0,0243
Error(Fahrt * Bedingung)	170713538	54	3161362			
Zeit bis Rand rechts (tlc-re) Fehleranzahl						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	1,314	1	1,314	0,04	0,8512	0,0007
Error(Fahrt)	1996,936	54	36,980			
Bedingung	2415,641	1	2415,641	51,14	0,0000	0,4864
Error(Bedingung)	2550,609	54	47,234			
Fahrt * Bedingung	148,914	1	148,914	3,37	0,0719	0,0587
Error(Fahrt * Bedingung)	2386,336	54	44,191			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	0,768	1	0,768	0,03	0,8567	0,0006
Error(Fahrt)	1259,982	54	23,333			
Bedingung	932,768	1	932,768	38,30	0,0000	0,4150
Error(Bedingung)	1314,982	54	24,352			
Fahrt * Bedingung	92,950	1	92,950	3,34	0,0732	0,0582
Error(Fahrt * Bedingung)	1503,800	54	27,848			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	10,914	1	10,914	0,87	0,3553	0,0158
Error(Fahrt)	677,836	54	12,553			
Bedingung	132,914	1	132,914	9,18	0,0037	0,1453
Error(Bedingung)	781,836	54	14,478			
Fahrt * Bedingung	28,368	1	28,368	1,86	0,1782	0,0333
Error(Fahrt * Bedingung)	823,382	54	15,248			

Zusammenfassung Zeit bis Rand links und rechts

Zeit zum Rand links (tlc-li) und rechts (tlc-re) Fehlerdauer						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	5443463	1	5443463	0,50	0,4839	0,0091
Error(Fahrt)	591618787	54	10955903			
Bedingung	559984328	1	559984328	50,53	0,0000	0,4834
Error(Bedingung)	598464122	54	11082669			
Seite (li, re)	342110183	1	342110183	14,61	0,0003	0,2129
Error(Seite)	1264777667	54	23421809			
Fahrt * Bedingung	42296401	1	42296401	4,68	0,0350	0,0797
Error(Fahrt*Bedingung)	488422049	54	9044853			
Fahrt * Seite	3990023	1	3990023	0,75	0,3897	0,0137
Error(Fahrt*Seite)	286578227	54	5307004			
Bedingung * Seite	1158765	1	1158765	0,23	0,6337	0,0042
Error(Bedingung*Seite)	272445685	54	5045290			
Dreifach-Interaktion	751165	1	751165	0,19	0,6680	0,0034
Error(Dreifachint.)	218052885	54	4038016			
Zeit zum Rand links (tlc-li) und rechts (tlc-re) Fehleranzahl						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	23,18	1	23,18	0,48	0,4906	0,0088
Error(Fahrt)	2598,44	54	48,12			
Bedingung	5313,28	1	5313,28	82,49	0,0000	0,6044
Error(Bedingung)	3478,35	54	64,41			
Seite (li, re)	1429,20	1	1429,20	8,88	0,0043	0,1413
Error(Seite)	8687,42	54	160,88			
Fahrt * Bedingung	296,18	1	296,18	5,48	0,0229	0,0922
Error(Fahrt*Bedingung)	2916,94	54	54,02			
Fahrt * Seite	41,42	1	41,42	1,71	0,1971	0,0306
Error(Fahrt*Seite)	1311,70	54	24,29			
Bedingung * Seite	11,46	1	11,46	0,42	0,5217	0,0076
Error(Bedingung*Seite)	1487,67	54	27,55			
Dreifach-Interaktion	0,00	1	0,00	0,00	0,9888	0,0000
Error(Dreifachint.)	615,62	54	11,40			

Spur verlassen links

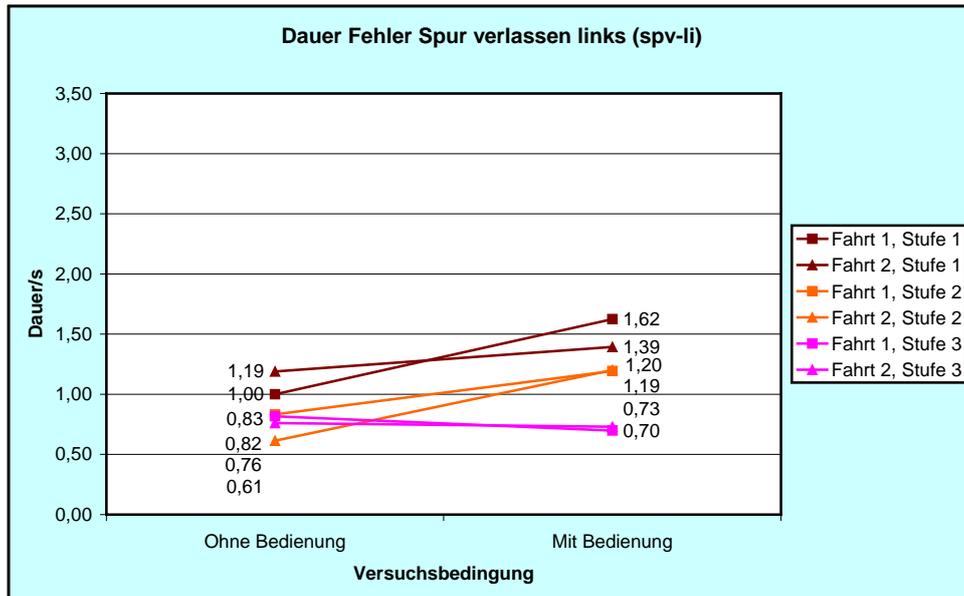


Abbildung 26. Gesamtdauer der Fehler Spur verlassen links (spv-li), Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

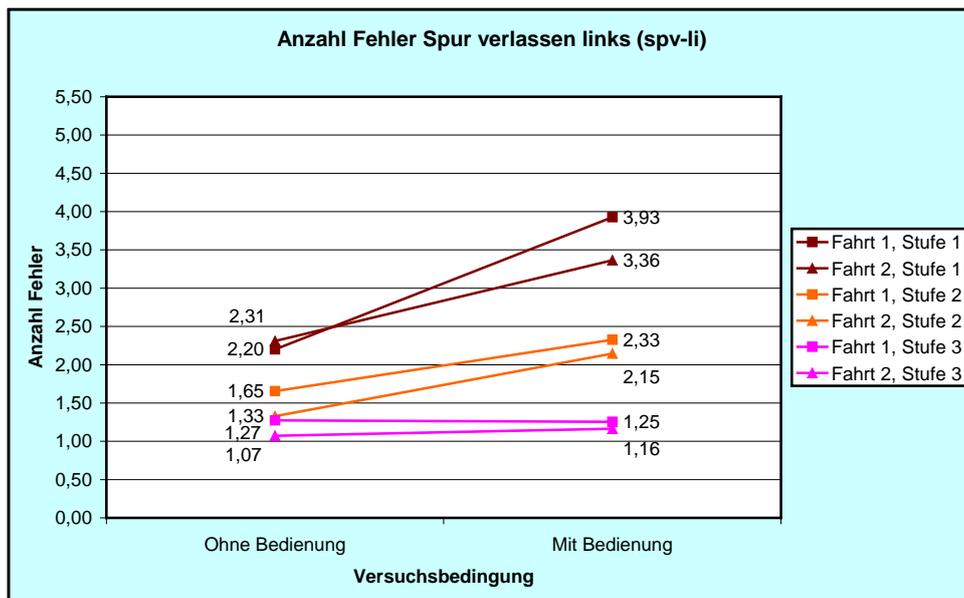


Abbildung 27. Anzahl der Fehler Spur verlassen links (spv-li), Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

Spur verlassen rechts

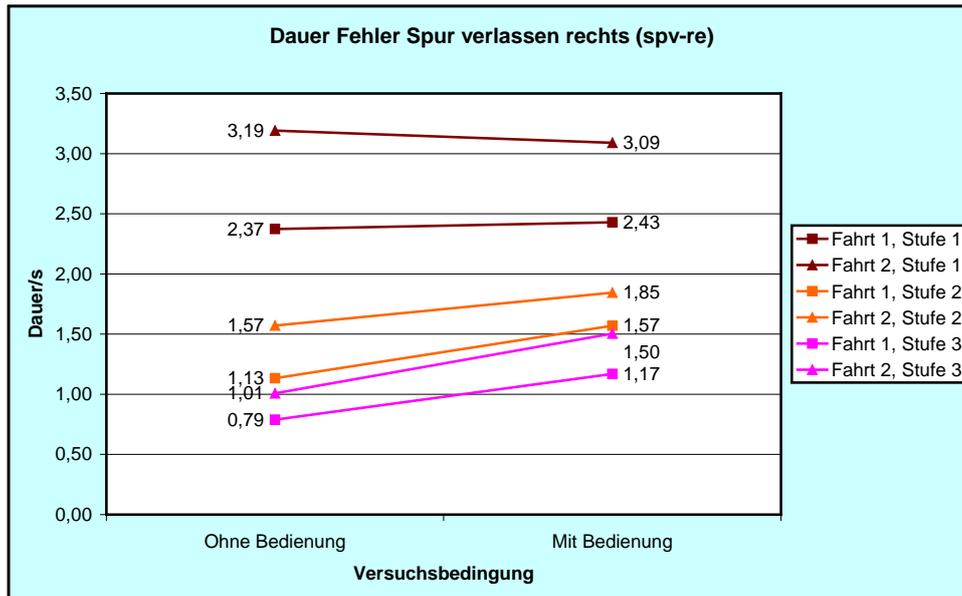


Abbildung 28. Gesamtdauer der Fehler Spur verlassen rechts (spv-re), Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

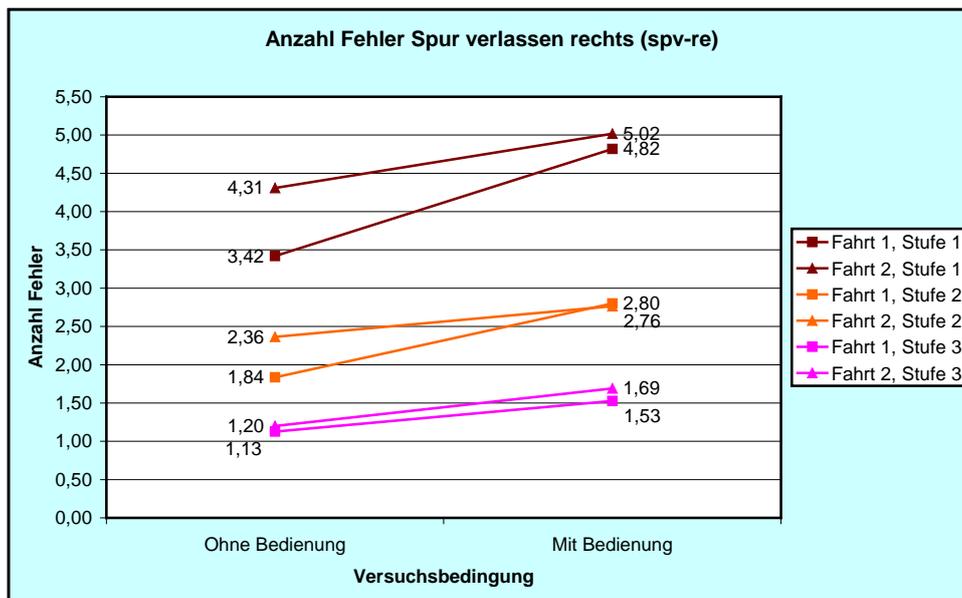


Abbildung 29. Anzahl der Fehler Spur verlassen rechts (spv-re), Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

Interpretation

Als weiteres Maß für die Qualität der Spurführung wurde die Variable *Spur verlassen* einbezogen. Im Simulator wurde von *Spur verlassen* dann gesprochen, wenn Teile der Außenkontur des Normfahrzeugs von 1,8 m Breite und 4,6 m Länge die Fahrspurbegrenzung erreichten oder überfuhren. Ein Spurwechsel impliziert das Verlassen der Spur im hier definierten Sinne. Wir haben darauf verzichtet, bei der Auswertung Spurwechsel automatisch zu erkennen und herauszurechnen. Da die unabhängige Variable *ohne/mit Bedienung* für jede Vp perfekt über die Streckenabschnitte balanciert war, sollte sich dies bis auf Zufallsstreuungen auf die Differenz von Dauer und Häufigkeit der

Fehler zwischen beiden Versuchsbedingungen nicht auswirken. Dass die Spur verlassen wurde, kam generell deutlich seltener vor als das Erreichen kritischer Werte für *tlc* (Abbildung 26 bis Abbildung 29). Auch waren die Effektgrößen im Falle signifikanter Verschlechterung unter Bedieninstruktion deutlich geringer als für die Variable *unsicheres Spurhalten*. Dennoch zeigte sich auch hier, wie bei der Variablen *tlc*, eine deutliche Asymmetrie zwischen rechter und linker Spur: Die Wirkungen der Bedieninstruktion waren auf der linken Straßenseite signifikant stärker als auf der rechten.

Signifikanztests

Spur verlassen links

Spur verlassen links (spv-li) Fehlerdauer						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	23629	1	23629	0,02	0,8935	0,0003
Error(Fahrt)	70476971	54	1305129			
Bedingung	9451636	1	9451636	5,71	0,0204	0,0956
Error(Bedingung)	89370164	54	1655003			
Fahrt * Bedingung	2421302	1	2421302	2,20	0,1435	0,0392
Error(Fahrt * Bedingung)	59344898	54	1098980			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	615862	1	615862	0,30	0,5872	0,0055
Error(Fahrt)	111473138	54	2064317			
Bedingung	12328756	1	12328756	7,92	0,0068	0,1279
Error(Bedingung)	84048244	54	1556449			
Fahrt * Bedingung	703425	1	703425	0,79	0,3768	0,0145
Error(Fahrt * Bedingung)	47821575	54	885585			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	8656	1	8656	0,01	0,9384	0,0001
Error(Fahrt)	77468444	54	1434601			
Bedingung	307129	1	307129	0,44	0,5113	0,0080
Error(Bedingung)	37935171	54	702503			
Fahrt * Bedingung	105602	1	105602	0,21	0,6459	0,0039
Error(Fahrt * Bedingung)	26711098	54	494650			
Spur verlassen links (spv-li) Fehleranzahl						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	2,841	1	2,841	0,76	0,3867	0,0139
Error(Fahrt)	201,409	54	3,730			
Bedingung	106,405	1	106,405	13,69	0,0005	0,2022
Error(Bedingung)	419,845	54	7,775			
Fahrt * Bedingung	6,223	1	6,223	1,81	0,1846	0,0324
Error(Fahrt * Bedingung)	186,027	54	3,445			

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung

Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	3,564	1	3,564	1,17	0,2834	0,0213
Error(Fahrt)	163,936	54	3,036			
Bedingung	30,564	1	30,564	8,55	0,0050	0,1368
Error(Bedingung)	192,936	54	3,573			
Fahrt * Bedingung	0,291	1	0,291	0,12	0,7266	0,0023
Error(Fahrt * Bedingung)	127,209	54	2,356			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	1,164	1	1,164	0,93	0,3401	0,0169
Error(Fahrt)	67,836	54	1,256			
Bedingung	0,073	1	0,073	0,07	0,7902	0,0013
Error(Bedingung)	54,927	54	1,017			
Fahrt * Bedingung	0,164	1	0,164	0,16	0,6870	0,0030
Error(Fahrt * Bedingung)	53,836	54	0,997			

Spur verlassen rechts

Spur verlassen rechts (spv-re) Fehlerdauer						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	30073616	1	30073616	4,04	0,0494	0,0696
Error(Fahrt)	401999684	54	7444439			
Bedingung	28409	1	28409	0,00	0,9493	0,0001
Error(Bedingung)	375939691	54	6961846			
Fahrt * Bedingung	340889	1	340889	0,06	0,8062	0,0011
Error(Fahrt * Bedingung)	302935611	54	5609919			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	6998989	1	6998989	1,52	0,2232	0,0273
Error(Fahrt)	248937811	54	4609959			
Bedingung	6956247	1	6956247	1,65	0,2041	0,0297
Error(Bedingung)	227350553	54	4210195			
Fahrt * Bedingung	368182	1	368182	0,20	0,6593	0,0036
Error(Fahrt * Bedingung)	101159418	54	1873323			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	4217325	1	4217325	0,77	0,3843	0,0140
Error(Fahrt)	296003175	54	5481540			
Bedingung	10604045	1	10604045	1,73	0,1939	0,0311
Error(Bedingung)	330886455	54	6127527			
Fahrt * Bedingung	182707	1	182707	0,08	0,7799	0,0015
Error(Fahrt * Bedingung)	125060993	54	2315944			

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung

Spur verlassen rechts (spv-re) Fehleranzahl						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	16,364	1	16,364	1,42	0,2389	0,0256
Error(Fahrt)	623,136	54	11,540			
Bedingung	61,164	1	61,164	5,35	0,0246	0,0901
Error(Bedingung)	617,336	54	11,432			
Fahrt * Bedingung	6,564	1	6,564	0,63	0,4306	0,0115
Error(Fahrt * Bedingung)	561,936	54	10,406			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	3,314	1	3,314	0,59	0,4470	0,0107
Error(Fahrt)	304,936	54	5,647			
Bedingung	25,568	1	25,568	3,23	0,0780	0,0564
Error(Bedingung)	427,682	54	7,920			
Fahrt * Bedingung	4,368	1	4,368	0,86	0,3584	0,0156
Error(Fahrt * Bedingung)	274,882	54	5,090			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	0,768	1	0,768	0,36	0,5523	0,0066
Error(Fahrt)	115,982	54	2,148			
Bedingung	10,914	1	10,914	2,86	0,0964	0,0504
Error(Bedingung)	205,836	54	3,812			
Fahrt * Bedingung	0,114	1	0,114	0,05	0,8202	0,0010
Error(Fahrt * Bedingung)	117,636	54	2,178			

Zusammenfassung Spur verlassen links und rechts

Spur verlassen links und rechts (spv-li, spv-re) Fehlerdauer						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	14205645	1	14205645	3,20	0,0790	0,0560
Error(Fahrt)	239354605	54	4432493			
Bedingung	4221841	1	4221841	0,86	0,3576	0,0157
Error(Bedingung)	264755009	54	4902871			
Seite (li, re)	237258205	1	237258205	8,53	0,0051	0,1363
Error(Seite)	1502834445	54	27830268			
Fahrt * Bedingung	2289608	1	2289608	0,59	0,4443	0,0109
Error(Fahrt*Bedingung)	208184242	54	3855264			
Fahrt * Seite	15891601	1	15891601	3,68	0,0603	0,0638
Error(Fahrt*Seite)	233122049	54	4317075			
Bedingung * Seite	5258205	1	5258205	1,42	0,2393	0,0255
Error(Bedingung*Seite)	200554845	54	3713979			
Dreifach-Interaktion	472583	1	472583	0,17	0,6857	0,0031
Error(Dreifachint.)	154096267	54	2853635			
Spur verlassen links und rechts (spv-li, spv-re) Fehleranzahl						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	2,78	1	2,78	0,31	0,5798	0,0057
Error(Fahrt)	484,59	54	8,97			
Bedingung	164,46	1	164,46	12,27	0,0009	0,1851
Error(Bedingung)	723,92	54	13,41			
Seite (li, re)	228,38	1	228,38	5,87	0,0188	0,0980
Error(Seite)	2100,99	54	38,91			
Fahrt * Bedingung	12,78	1	12,78	1,45	0,2340	0,0261
Error(Fahrt*Bedingung)	476,59	54	8,83			
Fahrt * Seite	16,42	1	16,42	2,61	0,1121	0,0461
Error(Fahrt*Seite)	339,95	54	6,30			
Bedingung * Seite	3,11	1	3,11	0,54	0,4671	0,0098
Error(Bedingung*Seite)	313,26	54	5,80			
Dreifach-Interaktion	0,00	1	0,00	0,00	0,9831	0,0000
Error(Dreifachint.)	271,37	54	5,03			

Standardabweichung der Spur gegen die Spur tiefpassgefiltert

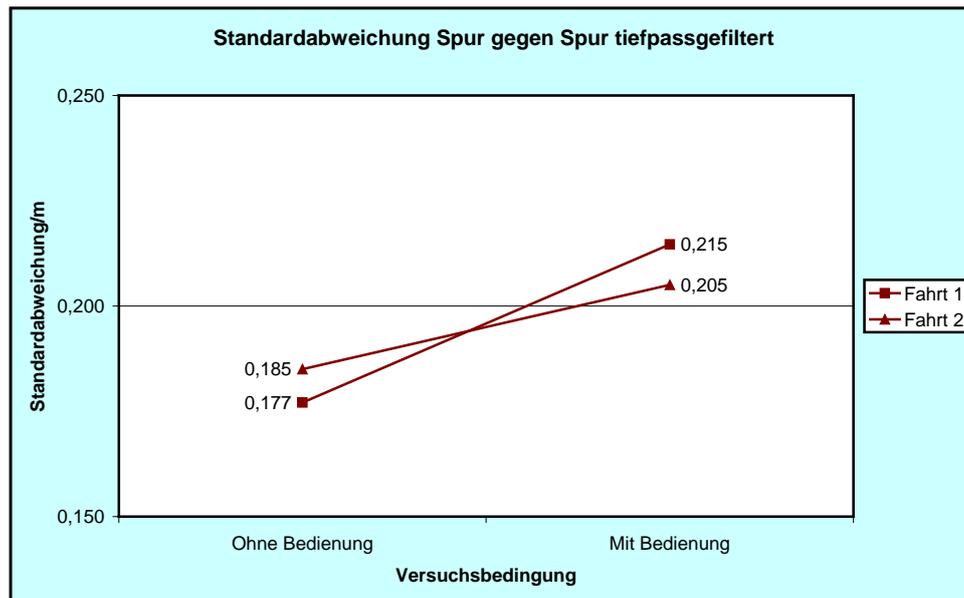


Abbildung 30. Standardabweichung der Spur gegen den tiefpassgefilterten Verlauf der Spur, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

Bei der Verwendung der Standardabweichung der Spurposition von der Spurmitte als Maß für die Güte der Spurhaltung erscheint es wenig sinnvoll, die Differenz der jeweiligen Fahrzeugposition von der Spurmitte zu ermitteln und aus allen diesen Messwerten die Standardabweichung zu berechnen. Es würden dann alle Werte einer zurückgelegten Strecke, auch die, die von absichtlichen Spuränderungen herrühren (z. B. Vorbeifahren an einem Radfahrer, Ausweichen vor einem Hindernis), in die Berechnung eingehen. Gewonnen werden aber soll ein Maß, das feinere Änderungen im Spurverlauf wiedergibt, die für eine unruhige Fahrweise sprechen, während die großen Bewegungsänderungen unberücksichtigt bleiben. Zu diesem Zweck wurde die Standardabweichung der Spur gegen den tiefpassgefilterten Verlauf der Spur verwendet (Abbildung 30). Zur Tiefpassfilterung wurde das gleitende arithmetische Mittel der Spur mit der Fensterweite 10 s (500 Messpunkte) berechnet. Da in diesem Fall noch keine Fehlerstufen definiert sind, zeigt Abbildung 30 nur 4 Zahlenwerte, *ohne* und *mit Bedienung*, *erste* und *zweite Fahrt*. Die Bedieninstruktion hatte einen hoch signifikanten Einfluss auf die Standardabweichung ($p < 0,01$), die sich *mit Bedienung* von 0,18 auf 0,21 erhöhte, was für eine unruhigere Fahrweise mit einer schlechteren Spurhaltung während der Bedienung des Navigationssystems spricht.

Signifikanztest

Standardabweichung Spur						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	0,00003848	1	0,00003848	0,04	0,8398	0,0008
Error(Fahrt)	0,04941885	53	0,00093243			
Bedingung	0,04483776	1	0,04483776	32,61	0,0000	0,3809
Error(Bedingung)	0,07288367	53	0,00137516			
Fahrt * Bedingung	0,00416573	1	0,00416573	3,04	0,0870	0,0543
Error(Fahrt * Bedingung)	0,07259197	53	0,00136966			

Durchschnittlicher Abstand von der Spurmitte

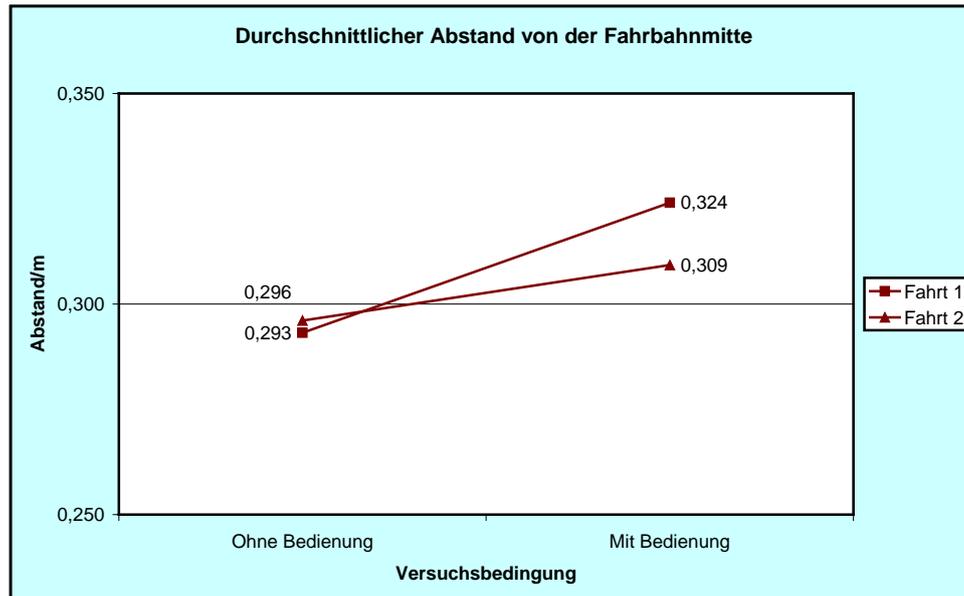


Abbildung 31. Durchschnittlicher Betrag der Abweichung von der Fahrbahnmitte, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

Wie bei allen vorherigen Variablen der Querführung führt auch in diesem Fall die Eingabe in das Navigationssystem zu einer Verschlechterung der Fahrweise. Allerdings ist der Unterschied in diesem Fall nicht so ausgeprägt wie bei den vorangegangenen Variablen, er ist nur auf dem 5 %-Niveau signifikant (Abbildung 31); die Effektgröße ist mit 8,6 % sehr niedrig.

Signifikanztest

Abstand von Spurmitte						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	0,00190775	1	0,00190775	0,42	0,5191	0,0079
Error(Fahrt)	0,24000862	53	0,00452846			
Bedingung	0,02621196	1	0,02621196	4,99	0,0297	0,0861
Error(Bedingung)	0,27827816	53	0,00525053			
Fahrt * Bedingung	0,00425006	1	0,00425006	0,96	0,3315	0,0178
Error(Fahrt * Bedingung)	0,23449141	53	0,00442437			

6.3.6 Zu geringer Seitenabstand beim Passieren anderer Fahrzeuge Nach IVI & TUD (2005, S. A/I-7)

Fahrfehler	Zu geringer Seitenabstand beim Passieren
Situation	Passieren anderer Fahrzeuge in gleicher Fahrtrichtung Passieren entgegenkommender Fahrzeuge
Indikatoren/Messvariablen	Seitlicher Abstand [m]
Technische Anforderungen	Seitenabstandsmessung (Genauigkeit +/- 0,05 m)
Existierende Kriterien (Referenz)	Gleiche Fahrtrichtung: Fehler, wenn Seitenabstand < 1,5 m (Fastenmeier, 1995) Entgegengesetzte Fahrtrichtung: Mindestabstand zur Fahrstreifenbegrenzung bei Vorbeifahrt am Gegenverkehr 0,25 m (Reichart, 2001)
Fehlerstufe entgegengesetzte Fahrtrichtung	0 wenn Seitenabstand \geq 1,5 m 1 wenn (Seitenabstand < 1,5 m) & (Seitenabstand \geq 1,0 m) 2 wenn (Seitenabstand < 1,0 m) & (Seitenabstand \geq 0,5 m) 3 wenn Seitenabstand < 0,5 m

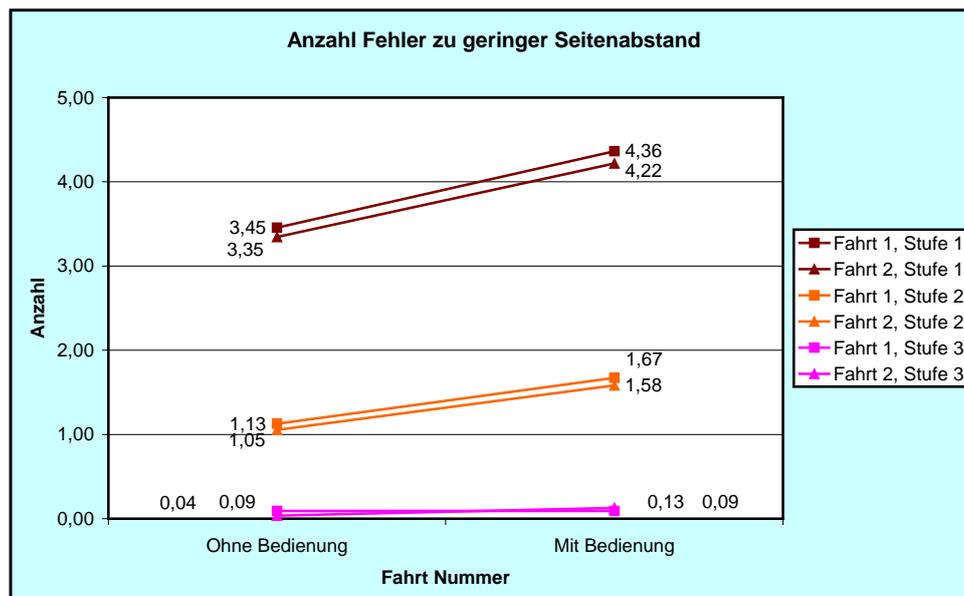


Abbildung 32. Anzahl Fehler zu geringer Seitenabstand zu anderen Fahrzeugen, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

Bei der Variablen *zu geringer Seitenabstand zu anderen Fahrzeugen* wurde nur die Fehleranzahl, nicht die Fehlerdauer erhoben, da das Passieren eines Fahrzeugs immer einen Vorgang von nur sehr begrenzter Dauer darstellt. Berechnet wurde diese Variable erst, wenn sich ein entgegenkommendes Fahrzeug in einem Abstand von 4 m oder weniger zum Versuchsfahrzeug befand. Das Überholen eines anderen Fahrzeugs durch die Vp wurde ebenso behandelt, es kam aber selten vor.

Wie Abbildung 32 zeigt, hat sich die Variable *zu geringer Seitenabstand* als weniger aussagekräftig erwiesen als die anderen Spurhaltevariablen. Zwar erreicht der Unterschied zwischen *ohne* und *mit Bedienung* bei der *Fehlerstufe 2* das 1 %- und bei der *Fehlerstufe 1* noch das 5 %-Signifikanzniveau, aber die Effekte sind doch als eher gering anzusehen.

Signifikanztests

Seitenabstand (sabs) Fehleranzahl						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	0,891	1	0,891	0,12	0,7278	0,0023
Error(Fahrt)	393,109	54	7,280			
Bedingung	43,655	1	43,655	5,35	0,0245	0,0902
Error(Bedingung)	440,345	54	8,155			
Fahrt * Bedingung	0,018	1	0,018	0,00	0,9599	0,0000
Error(Fahrt * Bedingung)	384,982	54	7,129			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	0,368	1	0,368	0,13	0,7185	0,0024
Error(Fahrt)	151,382	54	2,803			
Bedingung	15,823	1	15,823	7,25	0,0094	0,1183
Error(Bedingung)	117,927	54	2,184			
Fahrt * Bedingung	0,005	1	0,005	0,00	0,9725	0,0000
Error(Fahrt * Bedingung)	204,745	54	3,792			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	0,005	1	0,005	0,03	0,8676	0,0005
Error(Fahrt)	8,745	54	0,162			
Bedingung	0,114	1	0,114	0,39	0,5337	0,0072
Error(Bedingung)	15,636	54	0,290			
Fahrt * Bedingung	0,114	1	0,114	0,92	0,3405	0,0168
Error(Fahrt * Bedingung)	6,636	54	0,123			

6.3.7 Blickabwendungen von der Straße zu lange oder zu häufig

Nach IVI & TUD (2005, S. A/I-18, Auswertung th-eort, S. 123 und ttc-eort, S. 126)

Fahrfehler	Zu lange oder zu häufige Blickabwendungen von der Straße
Situation	Hauptbelastung in der Fahraufgabe (z. B. Folgefahren, Annähern, Spurwechsel)
Indikatoren/Messvariablen	Fixationsorte, Fixationsdauern Total Completion Time (<i>tct</i>) Eyes-Off-the-Road-Time (<i>eort</i>) Total-Glance-Time-During-Operation (<i>tgt</i>)
Technische Anforderungen	Blickregistrierung
Existierende Kriterien (Referenz)	2-Sekunden-Regel: Die Dauer einzelner Blicke darf jeweils 2 s nicht überschreiten (Zwahlen et al., 1988) 15-Sekunden-Regel: Ausführungszeit für eine Aufgabe darf im Stand 15 s nicht überschreiten (SAE J2365; Curry et al., 2002) Maximale Abwendungszeit = f (Bremsweg, Reaktionsweg); (Schweigert, 2003)
Verfahrenskriterien	<p>Für Folgefahren (mit annähernd gleicher Geschwindigkeit wie Vorderfahrzeug):</p> $\text{Zeitreserve: } t_{res} = th - eort$ <p>Für Annähern (mit größerer Unterschiedsgeschwindigkeit zum Vorderfahrzeug):</p> $\text{Zeitreserve: } t_{res} = ttc - eort$ <p>Mit</p> <p><i>th</i> Zeitlicher Abstand (time headway) zum vorausfahrenden Fahrzeug [s]</p> <p><i>eort</i> Eyes-Off-the-Road-Time [s]</p> <p><i>ttc</i> Time-to-collision [s]</p>
Fehlerstufe für Folgefahren	0 wenn $t_{res} \geq 1,7 \text{ s}$ 1 wenn $(t_{res} < 1,7 \text{ s}) \ \& \ (t_{res} \geq 1,2 \text{ s})$ 2 wenn $(t_{res} < 1,2 \text{ s}) \ \& \ (t_{res} \geq 0,7 \text{ s})$ 3 wenn $t_{res} < 0,7 \text{ s}$
Fehlerstufe für Annähern	0 wenn $t_{res} \geq 4,0 \text{ s}$ 1 wenn $(t_{res} < 4,0 \text{ s}) \ \& \ (t_{res} \geq 3,0 \text{ s})$ 2 wenn $(t_{res} < 3,0 \text{ s}) \ \& \ (t_{res} \geq 2,0 \text{ s})$ 3 wenn $t_{res} < 2,0 \text{ s}$
Fehlerstufe allgemein	0 wenn $eort < 2,0 \text{ s}$ 1 wenn $(eort \geq 2,0 \text{ s}) \ \& \ (eort < 2,5 \text{ s})$ 2 wenn $(eort \geq 2,5 \text{ s}) \ \& \ (eort < 3,0 \text{ s})$ 3 wenn $eort \geq 3,0 \text{ s}$

Anmerkung. Die Abschnitte *Verfahrenskriterien*, *Fehlerstufe für Folgefahren* und *Fehlerstufe für Annähern* werden hier nur nach IVI & TUD (2005, S. A/I-18) zitiert, in der eigenen Auswertung aber nicht angewandt. Die Größen *th* und *ttc* sind für jeden Zeitpunkt in einer Zeitpunkte- x Variablen-Matrix definiert, die Größe *eort* aber nicht. Sie bezeichnet die Dauer der Blickabwendung innerhalb eines gefahrenen Zeitintervalls, ist also nur für eine Sequenz von Zeitpunkten, aber nicht für einen einzelnen Zeitpunkt zu berechnen. Vermutlich haben die Autoren mit *t_{res}* das Zeitintervall intendiert, das sich für jeden Zeitpunkt, der in eine Fixation außerhalb der Straße fällt, ergibt, wenn man die Restdauer der Fixation von der Zeit *th* oder *ttc* subtrahiert. Wir schlagen statt dessen die *Fehlerstufen allgemein* vor, die sich unmittelbar aus der Zweisekundenregel ableiten lassen.

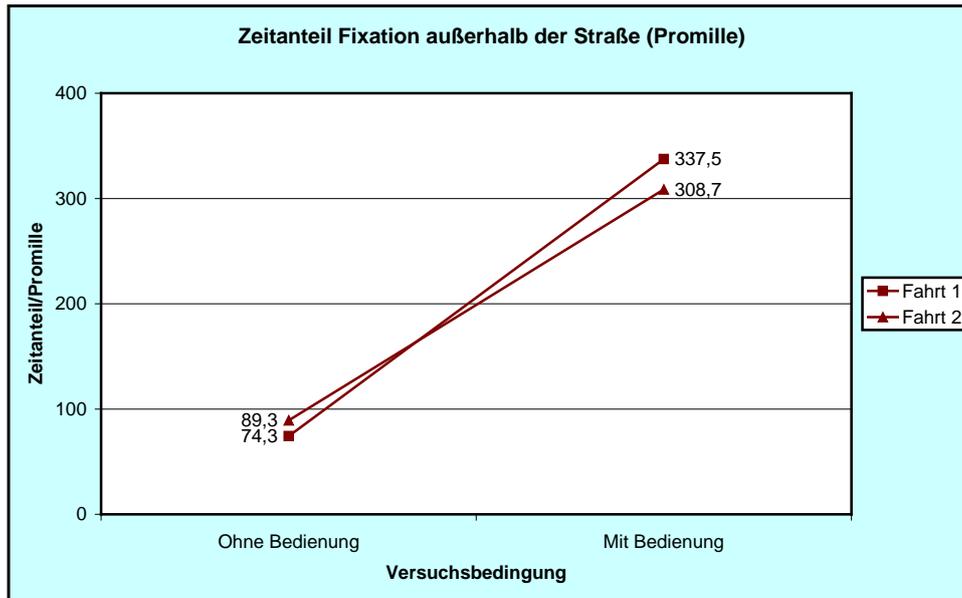


Abbildung 33. Zeitanteil der Fixation außerhalb der Straße, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

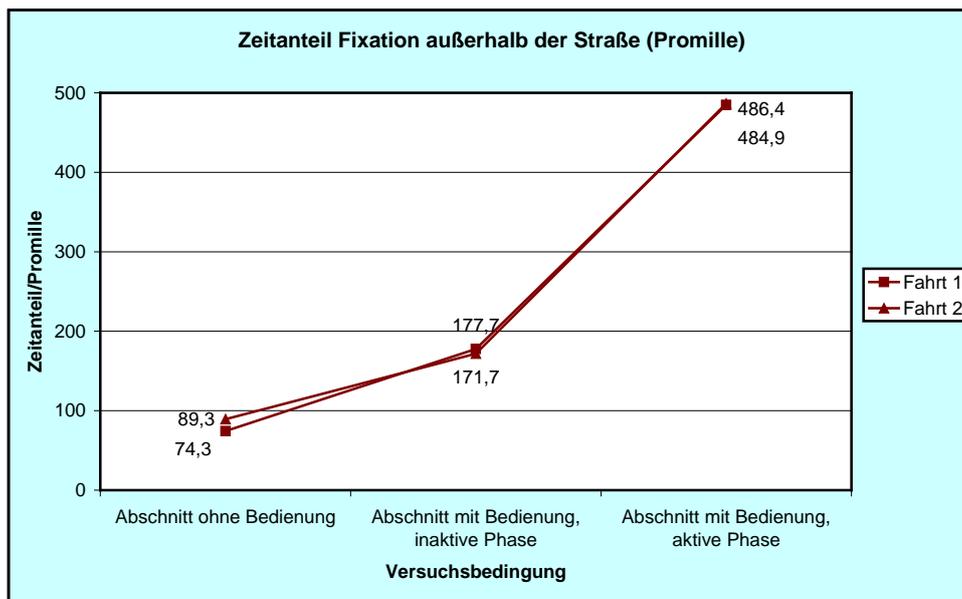


Abbildung 34. Zeitanteil der Fixation außerhalb der Straße, Abschnitte ohne und mit Bedienung, Abschnitte mit Bedienung in inaktive und aktive Phase aufgeteilt, getrennt nach erster und zweiter Fahrt



Abbildung 35. Durchschnittliche Dauer der einzelnen Fixationen außerhalb der Straße, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

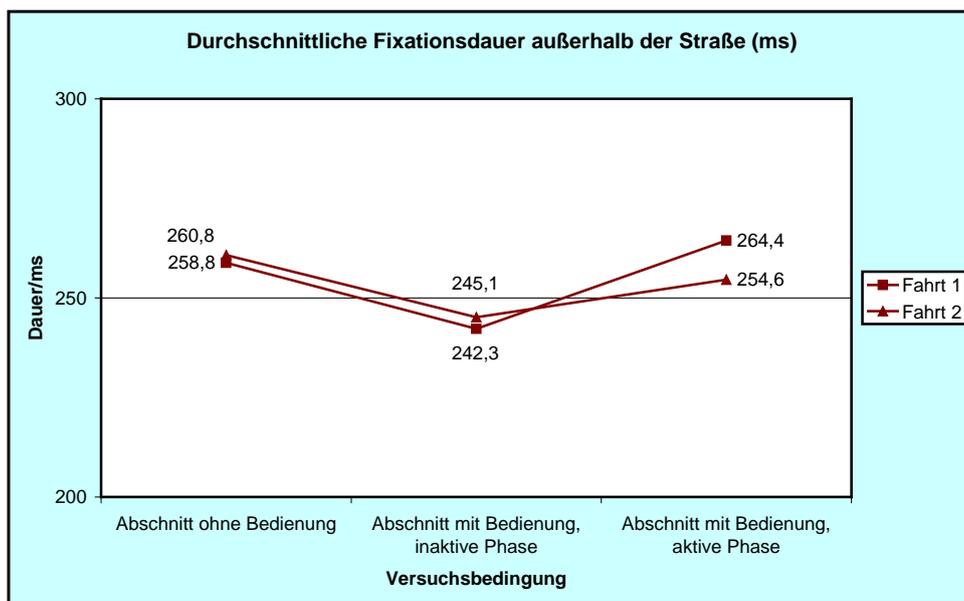


Abbildung 36. Durchschnittliche Dauer der einzelnen Fixationen außerhalb der Straße, Abschnitte ohne und mit Bedienung, Abschnitte mit Bedienung in inaktive und aktive Phase aufgeteilt, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

Die Häufigkeitsverteilungen der Blickabwendungsdauer

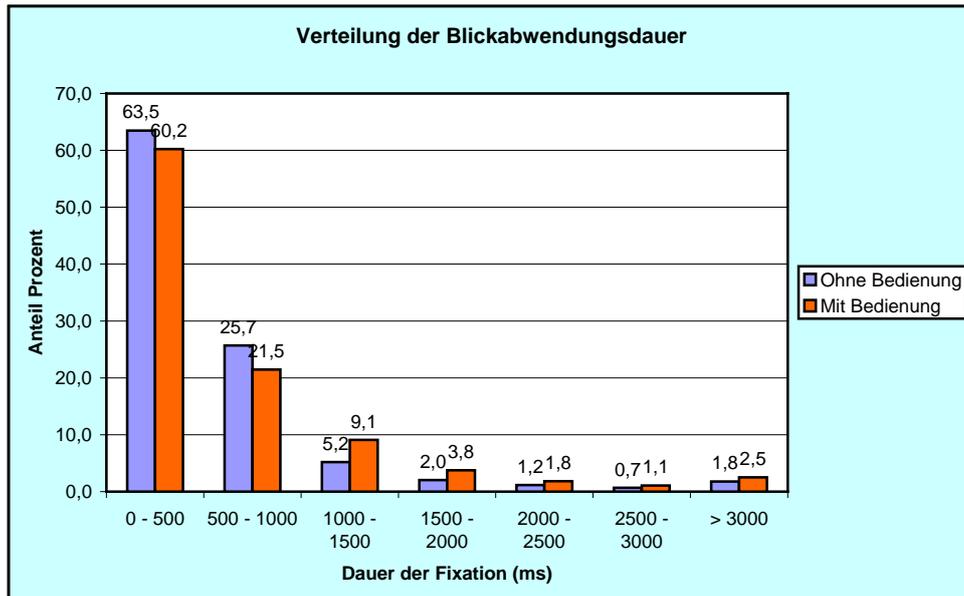


Abbildung 37. Die Dauer der Fixationen außerhalb der Straße, Häufigkeitsverteilung über alle Personen und beide Fahrten hinweg, Abschnitte ohne ($n = 10929 = 100\%$) und mit ($n = 36845 = 100\%$) Bedienung

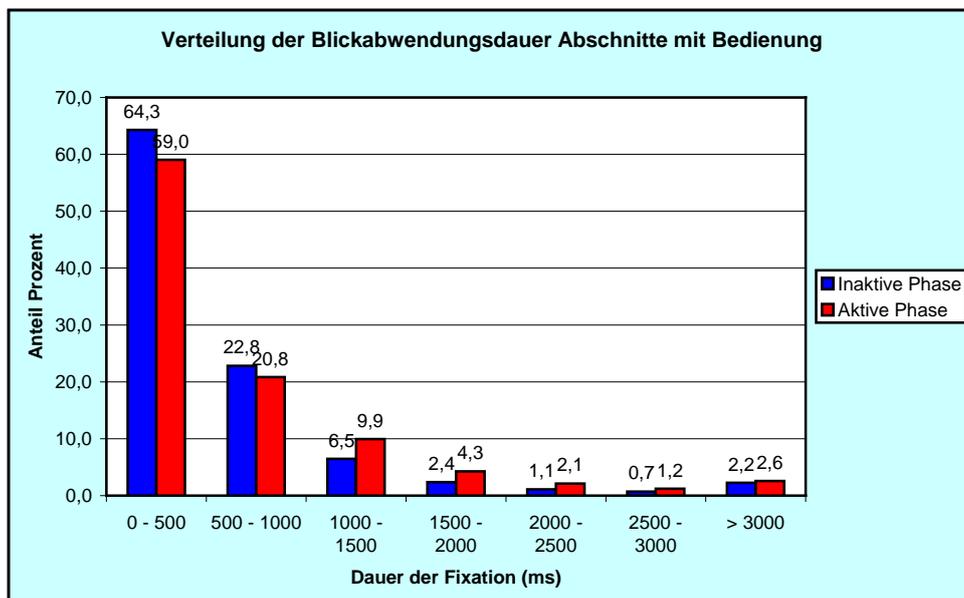


Abbildung 38. Die Dauer der Fixationen außerhalb der Straße, Häufigkeitsverteilung über alle Personen und beide Fahrten hinweg, nur Abschnitte mit Bedienung, aufgeteilt in inaktive ($n = 11029 = 100\%$) und aktive ($n = 26323 = 100\%$) Phase. Anmerkung: Die Summe der n für inaktive und aktive Phase weicht geringfügig von dem n in der Phase mit Bedienung in Abbildung 37 ab, da Fixationen, die sich über Abschnittsgrenzen hinweg erstrecken, anteilig bei beiden Abschnitten gezählt wurden

Interpretation

Das im Simulatorversuch verwendete FaceLab sollte die Registrierung dreier Fixationsrichtungen ermöglichen: auf die Straße, auf den Tachometer und auf die Head Unit. Ein Vergleich der FaceLab-Daten mit den Videoaufzeichnungen zeigte aber, dass die beiden verschiedenen Fixationen innerhalb des Fahrzeugs nicht zuverlässig getrennt wurden: Oft registrierte das FaceLab *Tachometer*, wenn der Fahrer die Head Unit fixierte und *Head Unit*, wenn der Fahrer auf den Tachometer blickte. Wir entschlossen uns daher, diese beiden Fixationsrichtungen nicht getrennt auszuwerten, sondern sie zu einer Kategorie *außerhalb der Straße* zusammenzufassen.

In Abbildung 33 ist wiedergegeben, wie lange die Vpn im Durchschnitt in Abschnitten *ohne Bedienung* und in Abschnitten *mit Bedienung* Bereiche *außerhalb der Straße* fixieren, d. h. den PKW-Innenraum und – in Abschnitten *mit Bedienung* – das Navigationssystem. Unter Bedieninstruktion erhöht sich erwartungsgemäß dieser Zeitanteil erheblich: von 8,2 % auf 32,3 % der Zeit. Interessanterweise erhöht sich auch in Abschnitten *mit Bedienung* in der *inaktiven Phase*, in der die Vpn zwar unter Bedieninstruktion stehen, aber keine aktive Bedienhandlung ausführen, der Zeitanteil der Fixation auf den Innenraum des Fahrzeugs deutlich: von 8,2 % auf 17,5 % (Abbildung 34). Es kommt offensichtlich zu vorbereitenden Fixierungen des Navigationssystems, bevor aktiv reagiert wird, aber auch zu „nachbereitenden“ Kontrollblicken, wenn die Bedienhandlung bereits beendet ist. Beides ist in den Videoaufzeichnungen sehr gut zu erkennen.

Zu einer Erhöhung der durchschnittlichen Dauer der einzelnen Fixation auf Punkte im Innenraum des Fahrzeugs kommt es andererseits nicht (Abbildung 35 und Abbildung 36). Ob ohne oder mit Bedienung dauert eine Fixation im Durchschnitt ungefähr 250 ms (siehe auch die Häufigkeitsverteilung der Blickabwendungsdauer in Abbildung 37 und Abbildung 38). Es wird also häufiger, aber im Einzelfall nicht länger der Blick von der Straße abgewandt, wenn das Navigationssystem bedient werden muss. Die Vpn versuchen offensichtlich eine Gefährdung durch die Zusatzaufgabe zu kompensieren, indem sie während des Bedienens nicht länger als üblich auf das Navigationssystem schauen und durch Blicke zurück auf die Straße das Straßengeschehen unter Kontrolle zu behalten versuchen. Dies ist allerdings nur das Bild, das sich bei der Auswertung der durchschnittlichen Dauer der einzelnen Fixationen ergibt. Die Analyse der Verteilungen, wie sie in Abbildung 37 und Abbildung 38 dargestellt sind, lässt doch feinere Unterschiede erkennen. Fixationsdauern über 1000 ms sind demnach selten, über 1500 ms sehr selten, zeigen jedoch größere Häufigkeiten *mit Bedienung* und unter dieser Versuchsbedingung hier wiederum in der *aktiven Phase*. Wir haben deshalb auf die Maßzahlklassen mit einer Fixationsdauer ≥ 2000 ms die Fehlerstufenrechnung nach der Tabelle am Anfang von Abschnitt 6.3.7 angewandt. Dieser liegt hier die Zweisekundenregel der Blickabwendung zugrunde: Ab einer Fixationsdauer außerhalb der Straße von 2000 ms liegt ein Fahrfehler vor (Zwahlen et al., 1988).

Fehlerstufen der Blickabwendungsdauer

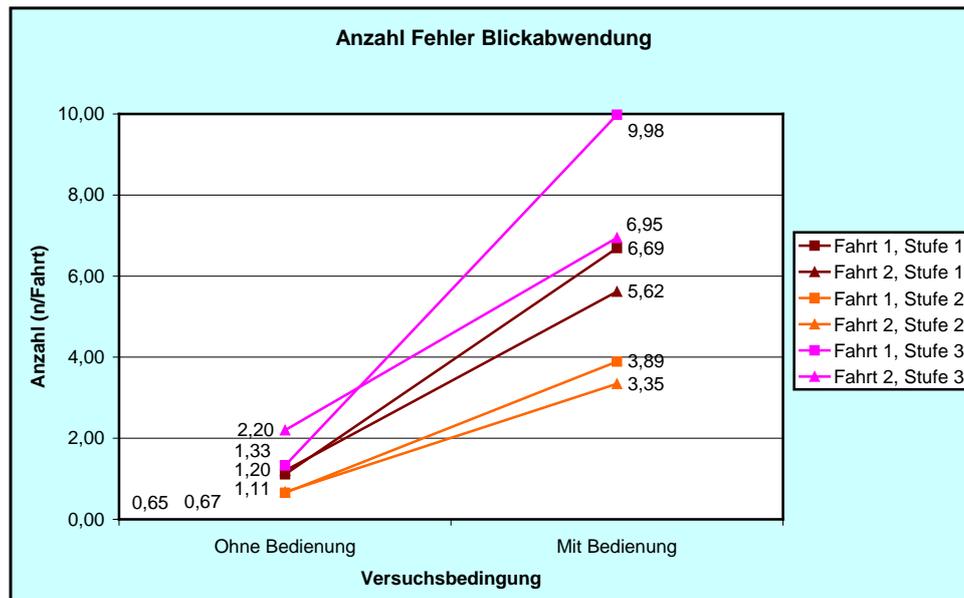


Abbildung 39. Die Häufigkeit der Fehlerstufen bei der Blickabwendung, ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

Interpretation

Abbildung 39 zeigt eine hoch signifikante Erhöhung der Fehler *Blickabwendungsdauer zu lang* für alle drei Fehlerstufen. Interessanterweise ist es diesmal nicht die niedrigste, sondern die höchste Fehlerstufe, die die größte Zunahme unter der Bedieninstruktion aufweist: von durchschnittlich 1,8 Fehlern *ohne Bedienung* auf 8,5 Fehler *mit Bedienung*. Bei der Analyse der Verteilungen zeigt sich somit eine massive Sicherheitsminderung unter der Zusatzaufgabe *Bedienung des Navigationssystems*.

Signifikanztests

Zeitanteil Fixation außerhalb Straße (Promille)							
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	
Fahrt	2674	1	2674	0,17	0,6814	0,0031	
Error(Fahrt)	847206	54	15689				
Bedingung	3201930	1	3201930	146,49	0,0000	0,7307	
Error(Bedingung)	1180304	54	21857				
Fahrt * Bedingung	26379	1	26379	6,97	0,0108	0,1144	
Error(Fahrt * Bedingung)	204280	54	3783				
Zeitanteil Fixation außerhalb Straße, Abschnitt mit Bedienung in Phasen aufgeteilt							
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	
Fahrt	1002	1	1002	0,04	0,8484	0,0007	
Error(Fahrt)	1466094	54	27150				
Bedingung	9842603	2	4921302	158,64	0,0000	0,7461	
Error(Bedingung)	3350328	108	31022				
Fahrt * Bedingung	6165	2	3082	0,74	0,4785	0,0136	
Error(Fahrt * Bedingung)	448614	108	4154				

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung

Durchschnittliche Fixationsdauer außerhalb Straße						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	193	1	192,89	0,02	0,8821	0,0004
Error(Fahrt)	468863	54	8682,65			
Bedingung	550	1	550,47	0,04	0,8460	0,0007
Error(Bedingung)	780674	54	14456,92			
Fahrt * Bedingung	802	1	801,82	0,18	0,6728	0,0033
Error(Fahrt * Bedingung)	240099	54	4446,28			
Durchschnittliche Fixationsdauer außerhalb Straße, Abschnitt mit Bedienung in Phasen aufgeteilt						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	230,836	1	230,836	0,02	0,8811	0,0004
Error(Fahrt)	552264,497	54	10227,120			
Bedingung	18639,873	2	9319,936	0,81	0,4468	0,0148
Error(Bedingung)	1240000,794	108	11481,489			
Fahrt * Bedingung	2773,655	2	1386,827	0,38	0,6824	0,0071
Error(Fahrt * Bedingung)	390615,012	108	3616,806			
Blickabwendung Fehleranzahl						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	1375,00	1	1375,00	54,177	0,0000	0,5008
Error(Bedingung)	1370,50	54	25,38			
Fahrt	13,25	1	13,25	1,192	0,2797	0,0216
Error(Fahrt)	600,25	54	11,12			
Bedingung * Fahrt	18,62	1	18,62	2,036	0,1594	0,0363
Error(Bedingung * Fahrt)	493,88	54	9,15			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	480,11	1	480,11	56,222	0,0000	0,5101
Error(Bedingung)	461,14	54	8,54			
Fahrt	3,82	1	3,82	0,752	0,3896	0,0137
Error(Fahrt)	274,43	54	5,08			
Bedingung * Fahrt	4,37	1	4,37	1,186	0,2810	0,0215
Error(Bedingung * Fahrt)	198,88	54	3,68			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	2468,95	1	2468,95	30,517	0,0000	0,3611
Error(Bedingung)	4368,80	54	80,90			
Fahrt	64,37	1	64,37	1,449	0,2339	0,0261
Error(Fahrt)	2398,38	54	44,41			
Bedingung * Fahrt	210,11	1	210,11	8,853	0,0044	0,1409
Error(Bedingung * Fahrt)	1281,64	54	23,73			

6.3.8 Geschwindigkeit zu hoch für Straßenverlauf – Querschleunigung Nach IVI & TUD (2005, S. A/I-2)

Fahrfehler	Geschwindigkeit zu hoch für Straßenverlauf										
Situation	Kurve										
Indikatoren/Messvariablen	Eigene Geschwindigkeit (Quer-)Beschleunigung Kurvenradius										
Technische Anforderungen	Geschwindigkeitsmessung (Genauigkeit +/- 2 %) Querschleunigung messen (Genauigkeit +/- 5 %) Positionsbestimmung (GPS, Genauigkeit +/- 1 m) GPS-Streckenkoordinaten (digitale Karte, Genauigkeit +/- 1 m)										
Existierende Kriterien (Referenz)	Normal: $q = 2 - 4 \text{ m/s}^2$ Unnormal, wenn ... bis 60 km/h: $q > 0,5 \text{ g}$ bis 120 km/h: $q > 0,3 \text{ g}$ bis 160 km/h: $q > 0,2 \text{ g}$ (Lechner, 1992; zitiert nach Reichart, 2001)										
	Entwurfsgeschwindigkeit v_{85}										
	Faustregel (bei trockener Straße): Fehler bei $v > 11 \cdot r^{1/2}$ Mit $v = \text{Geschwindigkeit [km/h]}$ $r = \text{Kurvenradius [m]; (Reichart, 2001)}$										
Verfahrenskriterium	$queproz = (ABS(q) - qgr) \cdot 100 / qgr$ <p>Mit</p> <p>$queproz$ Überschreitung des Querschleunigungs-Grenzwertes [%] $ABS(q)$ Tatsächliche Querschleunigung [m/s^2] qgr Grenzwert für Querschleunigung [m/s^2]</p> <p>Dabei gilt:</p> <table> <tr> <td>Geschwindigkeit</td> <td>qgr</td> </tr> <tr> <td>< 60 km/h</td> <td>0,5 g</td> </tr> <tr> <td>60 bis 120 km/h</td> <td>0,3 g</td> </tr> <tr> <td>120 bis 160 km/h</td> <td>0,2 g</td> </tr> <tr> <td>> 160 km/h</td> <td>0,1 g</td> </tr> </table>	Geschwindigkeit	qgr	< 60 km/h	0,5 g	60 bis 120 km/h	0,3 g	120 bis 160 km/h	0,2 g	> 160 km/h	0,1 g
Geschwindigkeit	qgr										
< 60 km/h	0,5 g										
60 bis 120 km/h	0,3 g										
120 bis 160 km/h	0,2 g										
> 160 km/h	0,1 g										
Fehlerstufe	0 wenn $queproz \leq 0 \%$ 1 wenn $(queproz > 0 \%) \ \& \ (queproz \leq 15 \%)$ 2 wenn $(queproz > 15 \%) \ \& \ (queproz \leq 30 \%)$ 3 wenn $queproz > 30 \%$										

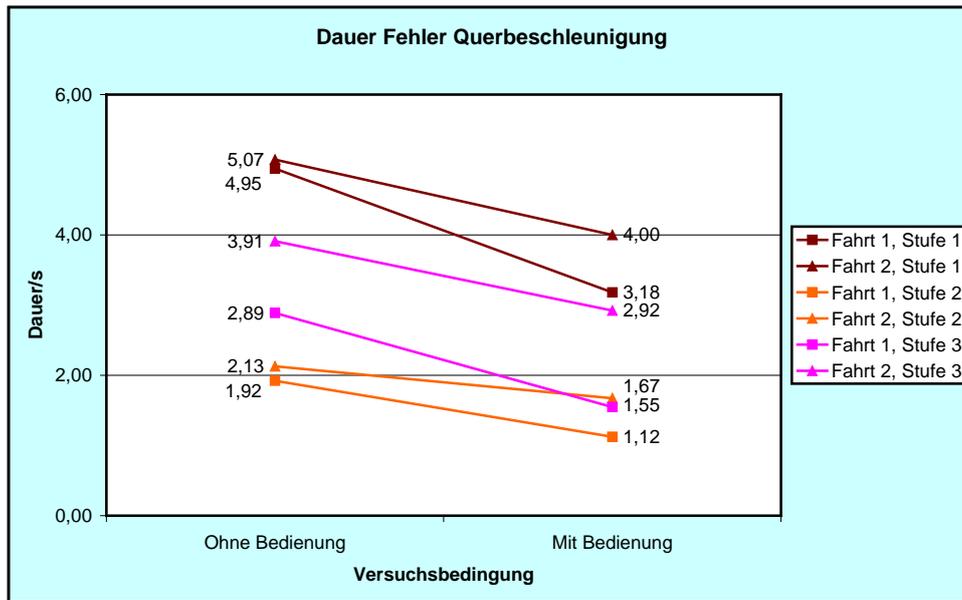


Abbildung 40. Gesamtdauer der Fehler Querbeschleunigung zu hoch, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

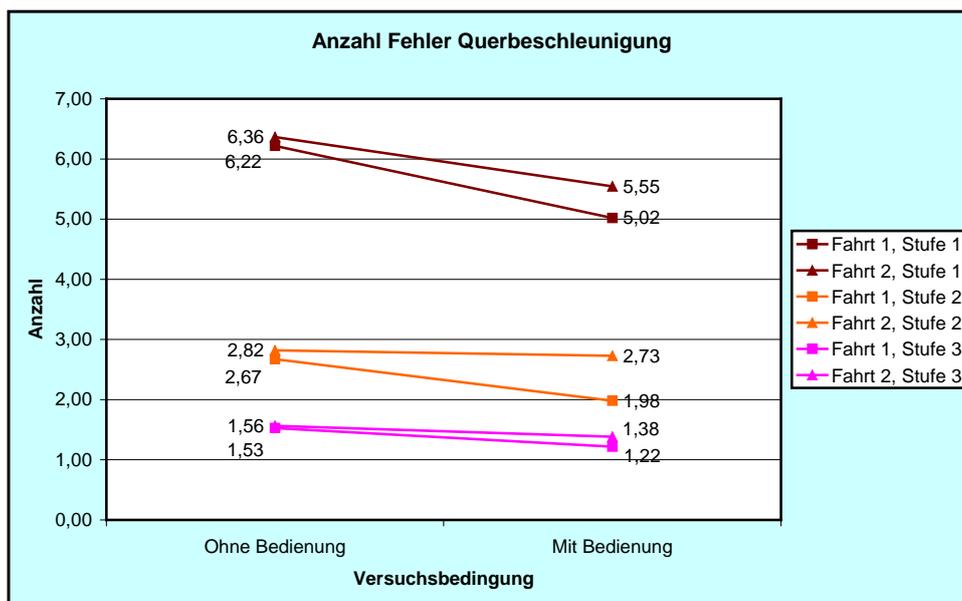


Abbildung 41. Anzahl der Fehler Querbeschleunigung zu hoch, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

Interpretation

Die Dauer der Fehler *Querbeschleunigung zu hoch* zeigt eine deutliche Reduktion unter Bedieninstruktion (Abbildung 40), während bei der Fehleranzahl nur die Fehlerstufe 1 das 5 %-Signifikanzniveau erreicht (Abbildung 41). Dieser Fehler wird demnach *mit Bedienung* annähernd gleich häufig gemacht wie *ohne Bedienung*, er ist aber *mit Bedienung* von kürzerer Dauer. Die erhebliche Reduktion der Fehlerdauer in der Versuchsbedingung weist die Querbeschleunigung eher als eine Geschwindigkeits- denn als eine Querführungsvariable aus.

Signifikanztests

Querbeschleunigung (q) Fehlerdauer						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	12357180	1	12357180	1,23	0,2724	0,0223
Error(Fahrt)	542643520	54	10048954			
Bedingung	110760045	1	110760045	19,30	0,0001	0,2633
Error(Bedingung)	309945055	54	5739723			
Fahrt * Bedingung	6612089	1	6612089	0,68	0,4145	0,0124
Error(Fahrt * Bedingung)	527897011	54	9775871			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	7813325	1	7813325	1,66	0,2031	0,0298
Error(Fahrt)	254221575	54	4707807			
Bedingung	21653456	1	21653456	6,16	0,0162	0,1024
Error(Bedingung)	189891444	54	3516508			
Fahrt * Bedingung	1609965	1	1609965	0,35	0,5562	0,0065
Error(Fahrt * Bedingung)	247938535	54	4591454			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	79104029	1	79104029	1,57	0,2151	0,0283
Error(Fahrt)	2715238771	54	50282199			
Bedingung	74798902	1	74798902	7,39	0,0088	0,1204
Error(Bedingung)	546385498	54	10118250			
Fahrt * Bedingung	1717789	1	1717789	0,13	0,7156	0,0025
Error(Fahrt * Bedingung)	691495411	54	12805471			
Querbeschleunigung (q) Fehleranzahl						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	6,223	1	6,223	0,26	0,6124	0,0048
Error(Fahrt)	1294,027	54	23,963			
Bedingung	56,005	1	56,005	4,75	0,0338	0,0808
Error(Bedingung)	637,245	54	11,801			
Fahrt * Bedingung	2,005	1	2,005	0,16	0,6930	0,0029
Error(Fahrt * Bedingung)	687,245	54	12,727			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	10,914	1	10,914	1,07	0,3047	0,0195
Error(Fahrt)	548,836	54	10,164			
Bedingung	8,405	1	8,405	1,86	0,1786	0,0333
Error(Bedingung)	244,345	54	4,525			
Fahrt * Bedingung	4,950	1	4,950	0,98	0,3267	0,0178
Error(Fahrt * Bedingung)	272,800	54	5,052			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	0,550	1	0,550	0,08	0,7767	0,0015
Error(Fahrt)	365,700	54	6,772			
Bedingung	3,314	1	3,314	1,53	0,2214	0,0276
Error(Bedingung)	116,936	54	2,165			
Fahrt * Bedingung	0,223	1	0,223	0,07	0,7901	0,0013
Error(Fahrt * Bedingung)	168,027	54	3,112			

6.3.9 Bremsreaktion, Kollisionsvermeidung

Nach IVI & TUD (2005, S. A/I-8)

Fahrfehler	Zu späte Bremsreaktion
Situation	Plötzlich bremsendes Vorderfahrzeug Plötzlich auftauchendes Hindernis
Indikatoren/Messvariablen	Reaktionszeit Bremsverzögerung Bremskraft
Technische Anforderungen	Reaktionszeit messen (Genauigkeit +/- 0,1 s) Bremsverzögerung messen (Genauigkeit +/- 5 %) Bremskraft messen (Genauigkeit +/- 5 %)
Existierende Kriterien (Referenz)	Normale Bremsreaktionszeit auf Bremslicht des Vorderfahrzeugs: 1,25 s (Green, 2000) Normale Bremsreaktionszeit auf plötzlich auftauchendem Hindernis: 1,5 s (Green, 2000)
Verfahrenskriterien	Bei bremsendem Vorderfahrzeug: <i>Reaktionszeit RT: Zeit vom Beginn des Aufleuchtens des Bremslichts des Vorderfahrzeugs bis zum Beginn der Reaktion [s]</i> Bei plötzlich auftauchendem Hindernis: <i>Reaktionszeit RT: Zeit vom Auftauchen des Hindernisses bis zum Beginn der Reaktion [s]</i>
Fehlerstufe bei plötzlich bremsendem Vorderfahrzeug	0 wenn $RT \leq 0,8 \text{ s}$ 1 wenn $(RT > 0,8 \text{ s}) \ \& \ (RT \leq 1,25 \text{ s})$ 2 wenn $(RT > 1,25 \text{ s}) \ \& \ (RT \leq 1,8 \text{ s})$ 3 wenn $RT > 1,8 \text{ s}$
Fehlerstufe bei plötzlich auftauchendem Hindernis	0 wenn $RT \leq 1,0 \text{ s}$ 1 wenn $(RT > 1,0 \text{ s}) \ \& \ (RT \leq 1,5 \text{ s})$ 2 wenn $(RT > 1,5 \text{ s}) \ \& \ (RT \leq 2,0 \text{ s})$ 3 wenn $RT > 2,0 \text{ s}$

Im Gegensatz zu den anderen Fahrfehlervariablen ist die Datenbasis für *Bremsreaktion und Kollisionsvermeidung* sehr klein. Die einschlägige Situation, unerwartetes Ausscheren eines Fahrzeugs aus dem ruhenden Verkehr, kam für jede V_p unter jeder Versuchsbedingung genau einmal bei der Ortsdurchfahrt vor. Bei der Auswertung wichen wir daher vom Schema der übrigen Fahrfehlervariablen ab. Die Situation war nicht extrem bedrohlich, sondern konnte bei langsamer Fahrt auch ohne Bremsen durch Gaswegnehmen und Lenken bewältigt werden. Deshalb waren nur von 41 Personen unter beiden Bedingungen Bremsreaktionszeiten messbar. Die Mittelwerte (in ms) und ihre Differenz zeigen die beiden folgenden Tabellen zum t-Test. Die Mittelwertsdifferenz hat zwar die erwartete Richtung eines Anstiegs *mit Bedienung*, verfehlt jedoch die Signifikanzgrenze.

Statistiken Reaktionszeiten auf *plötzlich auftauchendes Hindernis*

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Mit Bedienung	1125,3659	41	605,11196	94,50261
	Ohne Bedienung	982,4390	41	414,32343	64,70645

t-Test für abhängige Stichproben

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower				Upper
Pair 1	Mit B. – ohne B.	142,92683	745,00417	116,35010	-92,226	378,07916	1,228	40	,226

Die prozentuale Verteilung der Fehlerstufen nach Fahrfehlertabelle zeigt Abbildung 42. Die gleichen Daten sind nochmals als absolute Häufigkeiten kreuzklassifiziert in Tabelle 7 wiedergegeben.

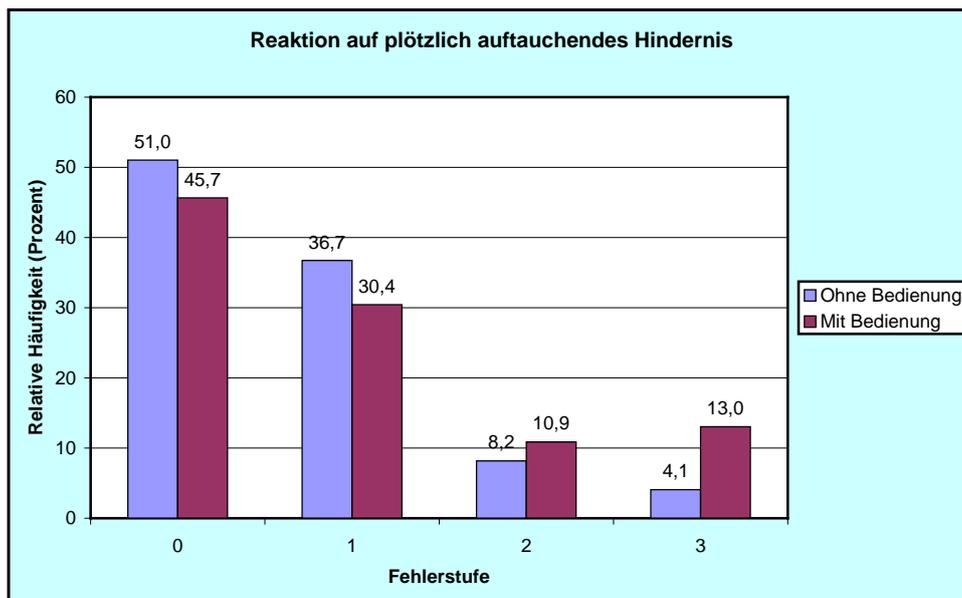


Abbildung 42. Häufigkeitsverteilung der Fehlerstufen für die Reaktionszeit bei plötzlich auftauchendem Hindernis, Abschnitte ohne und mit Bedienung

Statistiken

*Tabelle 7. Kreuzklassifikation der Fehlerstufen ohne und mit Bedienung.
Ein Chi-quadrat-Test ist wegen zu kleiner Zellenbesetzungen nicht zulässig*

		Fehlerstufe ohne Bedienung				Total
		,00	1,00	2,00	3,00	
Fehler- stufe mit Bedie- nung	,00	7	10	1	1	19
	1,00	11	2	1	0	14
	2,00	3	0	0	0	3
	3,00	2	2	1	0	5
Total		23	14	3	1	41

Die Daten zeigen mit Bedienung einen geringeren Prozentsatz der Fehlerstufen 0 und 1 sowie einen höheren Prozentsatz der schwereren Fehlerstufen 2 und 3. Der Mittelwert der Fehlerstufen über die Personen hinweg beträgt ohne Bedienung $M = 0,561$, mit Bedienung $M = 0,854$. Der Unterschied ist weder im Wilcoxon-Test ($z = 1,460$; $p = 0,144$), noch im t-Test für abhängige Stichproben ($t = 1,412$; $se = 0,207$; $df = 40$; $p = 0,166$) signifikant, sollte also nicht interpretiert werden.

6.3.10 Ampelsignal missachten

Nach IVI & TUD (2005, S. A/I-16)

Fahrfehler	Rotes/gelbes Ampelsignal missachten
Situation	Annäherung an Kreuzung Rotes Ampelsignal
Indikatoren/Messvariablen	Ampelsignalzustand (rot) Dauer des Gelb- bzw. Rotsignals beim Einfahren
Technische Anforderungen	Ampelschaltzeitpunkte und Signalzustände erfassen Einfahrzeitpunkt relativ zu Ampelschaltpunkten erfassen
Existierende Kriterien (Referenz)	Vorschrift für regelgerechtes Verhalten (STVO § 37; Bußgeldkatalog)
Verfahrenskriterium	<i>Einfahrzeitpunkt relativ zum Beginn der Gelb- bzw. Rotphase</i>
Fehlerstufe	0 wenn Einfahrzeitpunkt vor Umschaltung auf Rotphase 1 wenn (Rotphase seit > 0 s) & (Rotphase seit <= 0,5 s) 2 wenn (Rotphase seit > 0,5 s) & (Rotphase seit <= 1,0 s) 3 wenn Rotphase seit > 1,0 s

Anmerkung

Die in der Originaltabelle vorgesehene Zuweisung der Fehlerstufe 1 bei Gelbphase > 0,5 s haben wir getilgt. Bei 50 km/h würde einem Fahrer ein Fahrfehler der Stufe 1 gegeben, wenn er bei einem Abstand von knapp über 6,9 m vor der Ampel beim Umschalten auf Gelb nicht mehr bremst. Es wäre aber zu diskutieren, den Fahrfehler der Stufe 1 bereits zu vergeben, wenn der Einfahrzeitpunkt weniger als 0,5 s vor dem Ende der Gelbphase liegt.

Ergebnis

Die Ampel schaltete bei einem Abstand des Fahrzeugs von 45 m auf Gelb. Die Gelbphase dauerte 3,0 s, die Rotphase 17,0 s.

Bei $v = 50 \text{ km/h}$ und $t_{\text{Bremsen}} = 1,0 \text{ s}$ beträgt der Anhalteweg 62,1 m ($a = -2,0 \text{ m/s}^2$), 46,0 m ($a = -3,0 \text{ m/s}^2$) und 38,0 m ($a = -4,0 \text{ m/s}^2$). Beim ungebremsten und nicht beschleunigten Durchfahren beträgt die Fahrzeit für 45 m 3,24 s. Die V_p mussten also entweder schnell reagieren und mit $a \leq -3,0 \text{ m/s}^2$ bremsen oder leicht beschleunigen, um keinen Fahrfehler zu begehen.

Auch bei dieser Fahrfehlervariablen war die Datenbasis klein, weil jede V_p nur zweimal unter jeder der beiden Versuchsbedingungen an die auf rot umschaltende Ampel (auf der Strecke Ampel Nr. 1 und Nr. 4) heranfuhr. Den Vorgang haben wir deshalb genauer analysiert. Das begann mit den Bremsreaktionszeiten auf Gelb in den Fällen, in denen angehalten wurde. Die folgenden Tabellen zeigen zunächst die Mittelwerte der Reaktionszeiten und die Ergebnisse der t-Tests.

Bremsreaktionszeit auf Gelb in den Fällen, in denen angehalten wurde

Ampel 1

Bremsreaktionszeit

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Mit Bedienung	587,5000	16	414,52784	103,63196
	Ohne Bedienung	527,5000	16	260,65303	65,16326

t-Test für abhängige Stichproben

	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Paired Differences		t	df	Sig. (2-tailed)	
				95% Confidence Interval of the Difference					
				Lower	Upper				
Pair 1	Mit Bed. – ohne Bed.	60,00000	504,16928	126,04232	-208,65285	328,65285	,476	15	,641

Insgesamt 18 Personen haben bei beiden Fahrten an der Ampel 1 gehalten. Bei zweien davon ist jeweils ein Messwert ausgefallen. Nur $n = 16$ Vpn zeigten eine auswertbare, schnelle Bremsreaktion. Unter der Bedingung *mit Bedienung* wurde **langsamer** reagiert. Die Differenz verfehlt aber die Signifikanzgrenze. Der Wilcoxon-Test zeigt ein vergleichbares Resultat.

Ampel 4

Bremsreaktionszeit

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Mit Bedienung	666,6667	18	477,09908	112,45333
	Ohne Bedienung	674,4444	18	317,62394	74,86468

t-Test für abhängige Stichproben

	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Paired Differences		t	df	Sig. (2-tailed)	
				95% Confidence Interval of the Difference					
				Lower	Upper				
Pair 1	Mit Bed. – ohne Bed.	-7,77778	495,11206	116,69903	-253,99121	238,43566	-,067	17	,948

Insgesamt 20 Personen haben bei beiden Fahrten an der Ampel 4 gehalten. Bei zweien davon ist jeweils ein Messwert ausgefallen. Nur $n = 18$ Vpn zeigten eine auswertbare, schnelle Bremsreaktion. Unter der Bedingung *mit Bedienung* wurde **schneller** reagiert. Die Differenz verfehlt aber die Signifikanzgrenze deutlich, sollte also nicht interpretiert werden. Der Wilcoxon-Test zeigt ein vergleichbares Resultat.

Fahrfehler Überfahren des Rotlichts

Beim Lichtsignal entstanden Fahrfehler nur dann, wenn Fahrer, die nicht anhielten, zögerten, kurz bremsen oder so langsam fuhren, dass Sie das Signal nach dem Umschalten auf Rot passierten. Fahrer, die anhielten und Fahrer, die nicht anhielten, aber noch vor dem Umschalten auf Rot an der Ampel vorbeifuhren, erhielten die Fehlerstufe 0. Abbildung 43 und Abbildung 44 zeigen die Verteilungen der Fehlerstufen für jeweils $n = 55$ Personen.

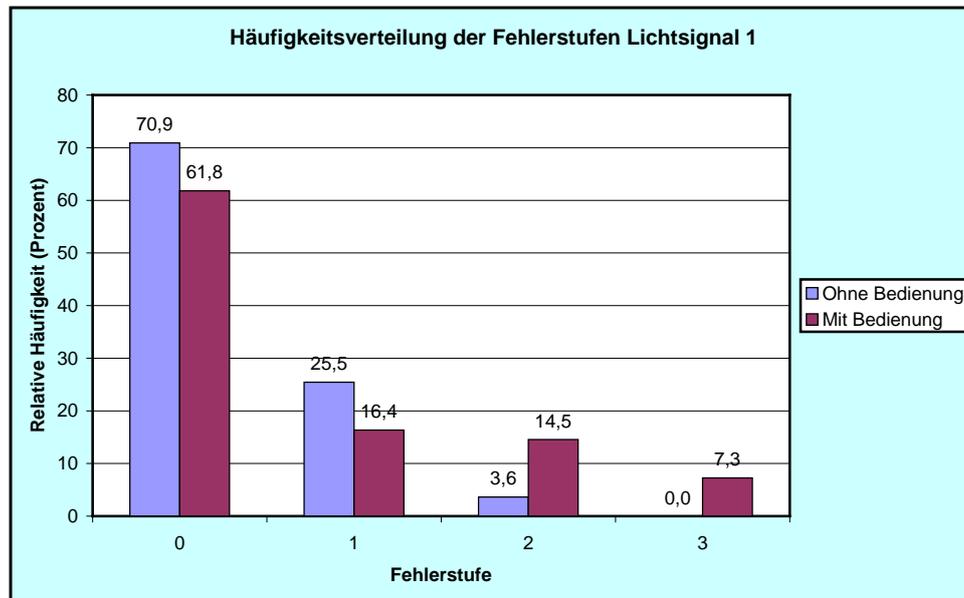


Abbildung 43. Häufigkeitsverteilung der Fehlerstufen Lichtsignal 1, Abschnitte ohne und mit Bedienung

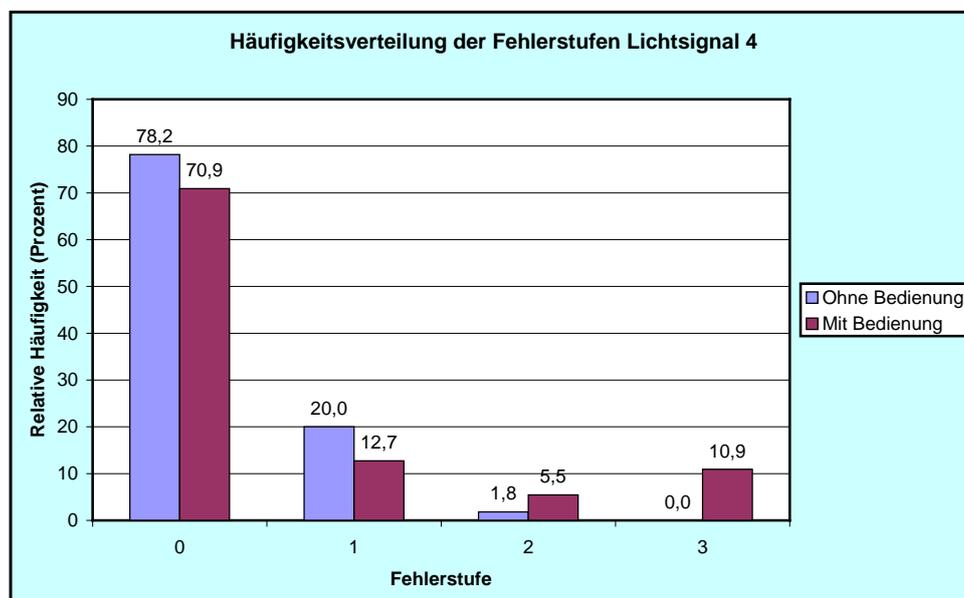


Abbildung 44. Häufigkeitsverteilung der Fehlerstufen Lichtsignal 4, Abschnitte ohne und mit Bedienung

Verteilung der falschen und richtigen Reaktionen an der Ampel

Werden die Fehlerstufen 0 danach aufgeteilt, ob angehalten oder noch korrekt durchgefahren wurde, entstehen die beiden folgenden Kreuzklassifikationen.

Ampel 1, Kreuzklassifikation Fehlerstufen *ohne* und *mit Bedienung* (absolute Häufigkeiten)

		Ampel 1, Ampelfehler, ohne Bedienung			Total
		Fehlerstufe nicht null	Fehlerstufe null, durchgefahren	Fehlerstufe null, gehalten	
Ampel 1	Fehlerstufe nicht null	6	4	11	21
Ampelfehler, mit Bedienung	Fehlerstufe null, durchgefahren	3	0	1	4
	Fehlerstufe null, gehalten	7	5	18	30
Total		16	9	30	55

Ampel 4, Kreuzklassifikation Fehlerstufen *ohne* und *mit Bedienung* (absolute Häufigkeiten)

		Ampel 4, Ampelfehler, ohne Bedienung			Total
		Fehlerstufe nicht null	Fehlerstufe null, durchgefahren	Fehlerstufe null, gehalten	
Ampel 4	Fehlerstufe nicht null	5	5	6	16
Ampelfehler, mit Bedienung	Fehlerstufe null, durchgefahren	0	4	1	5
	Fehlerstufe null, gehalten	7	7	20	34
Total		12	16	27	55

Das Muster dieser bivariaten Häufigkeitsverteilungen ist bemerkenswert. An Ampel 1 haben unter jeder der beiden Versuchsbedingungen 30 der 55 Vpn gehalten, aber nur 18 Vpn bei ihren beiden Fahrten. Von den 25 Vpn in jeder Bedingung, die nicht anhielten, schafften *ohne Bedienung* 9 Vpn, *mit Bedienung* aber nur 4 Vpn eine fehlerfreie Durchfahrt vor Beginn der Rotphase. Ein sehr ähnliches Bild zeigt Ampel 4. Hier haben *ohne Bedienung* 27 Vpn, *mit Bedienung* 34 Vpn angehalten. In beiden Bedingungen gehalten haben 20 Vpn. Von den 28 Vpn, die *ohne Bedienung* nicht gehalten haben, schafften 16 eine fehlerfreie Durchfahrt, von den 21 Vpn, die *mit Bedienung* nicht gehalten haben, aber nur 5 Vpn. Das bedeutet Folgendes. Beide Ampelschaltungen waren so eingestellt, dass sowohl angehalten als auch durchgefahren werden konnte, ohne einen Fahrfehler zu begehen. Fahrfehler entstanden nur durch Unentschlossenheit, eine zu lange Entscheidungszeit und nachfolgendes, zögerliches Fahren. Genau hier hat sich die Versuchsvariable ausgewirkt. In der Zahl der Vpn, die anhielten, zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Versuchsbedingungen. Unter denen, die nicht anhielten, waren aber Fehlerzahl und Fehlerschwere *mit Bedienung* höher. Im Lichte aller anderen Resultate bedeutet das: Die ablenkende Bedienaufgabe führte nicht dazu, dass bei dem eingestellten, kritischen Schaltzeitpunkt der Ampel häufiger noch durchgefahren wurde. Die Fehler entstanden vielmehr dadurch, dass der etwa gleiche Prozentsatz von Fahrern, die noch durchfahren, dies so langsam und zögerlich tat, dass die Zahl der Rotlichtverstöße anstieg. Die insgesamt langsamere Fahrt, die bei der Längsführung als Sicherheitszuwachs unter der Bedingung *mit Bedienung* anzusehen ist, führt hier, an der Ampel, zu einem Verlust an Sicherheit. Der Unterschied zwischen beiden Versuchsbedingungen, ausgedrückt in Häufigkeiten

der Fehlerstufen, erreicht für beide Lichtsignale die 5 %-Signifikanzschränke, wie die beiden folgenden Tabellen zeigen.

Wilcoxon-Test auf Unterschied in den Verteilungen der Fehlerstufen mit und ohne Bedienung, Ampeln 1 und 4

		N	Mean Rank	Sum of Ranks
a1fst2 - a1fst1 Ampel 1 Ohne Bedienung minus mit Bedienung	Negative Ranks	18(a)	17,75	319,50
	Positive Ranks	11(b)	10,50	115,50
	Ties	26(c)		
	Total	55		
a4fst2 - a4fst1 Ampel 4 Ohne Bedienung minus mit Bedienung	Negative Ranks	14(d)	12,64	177,00
	Positive Ranks	7(e)	7,71	54,00
	Ties	34(f)		
	Total	55		

- a a1fst2 < a1fst1
- b a1fst2 > a1fst1
- c a1fst2 = a1fst1
- d a4fst2 < a4fst1
- e a4fst2 > a4fst1
- f a4fst2 = a4fst1

Prüfstatistik

	a1fst2 - a1fst1	a4fst2 - a4fst1
Z	-2,299(a)	-2,190(a)
Asymp. Sig. (2-tailed)	,021	,028

- a Based on positive ranks.
- b Wilcoxon Signed Ranks Test

6.3.11 Lenkbewegungen

Im Bericht zum Vorgängerprojekt findet sich die Angabe, die Lenkentropie sei „analog zu der Beschreibung von Nakayama et al. 1999 berechnet [worden], wobei der Abstand zwischen den drei Werten[,] aus denen der vierte Wert vorhergesagt wird[,] hier ... nicht 150 ms, sondern 180 ms beträgt“ (IVI & TUD, 2005, S. 158). Die folgende, entscheidende Information geht aus einer Mitteilung der Verfasser hervor: Das 90. Perzentil, α_{90} , wurde für jede Person in jeder Versuchsbedingung getrennt bestimmt und nur der weiteren Auswertung der jeweils zugehörigen Verteilung zugrunde gelegt (G. Weller, persönliche E-mail vom 18.04.2005). Damit ist jedes H nach Nakayama et al. (1999) nicht nur ipsativ für die jeweilige Person, sondern auch für jede Person- x Versuchsbedingung-Zelle. Vergleiche zwischen Personen und Vergleiche zwischen Versuchsbedingungen sind auf der Basis so berechneter H-Werte nicht möglich.

Weil das Problem der ipsativen Messung nicht befriedigend lösbar ist, verzichten wir auf die Berechnung der Lenkentropie H nach Nakayama et al. (1999), wie wir es in Abschnitt 4.3.3 ausführlich begründet haben. Wie dort ebenfalls ausgeführt, verwenden wir das Verfahren aber bis zur Bestimmung der von uns so genannten Nakayama-Verteilungen. Den Zeitabstand zwischen den benachbarten Messpunkten für dieses Vorgehen wählen wir wie die Bearbeiter des Vorgängerprojektes auf 180 ms, also 9 Zeitschritte in der Zeitpunkte- x Variablen-Matrix. Wir fügen der Auswertung noch zwei Maße hinzu, deren Bedeutung wir durch den Vergleich mit den Zahlenwerten aus dem Nakayama-Verfahren evaluieren: die Zahl der Lenkausschläge, also der Umkehrpunkte der Drehrichtung des Lenkrades, pro Sekunde und deren doppelte Amplitude, also den durchschnittlichen Abstand zwischen den Maxima und Minima der Lenkbewegungen (engl. *peak to peak*).

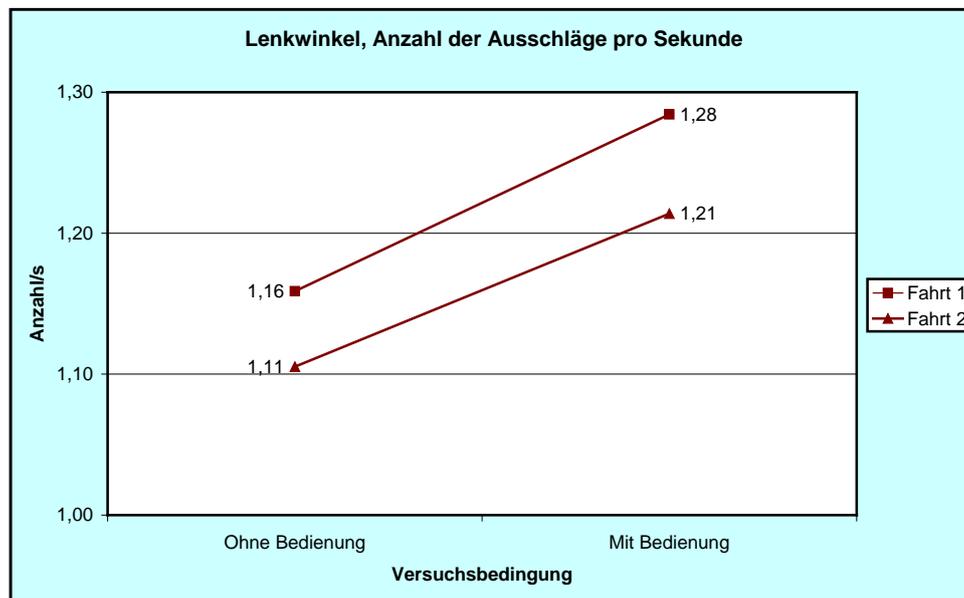


Abbildung 45. Lenkwinkel, Zahl der Ausschläge pro Sekunde, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

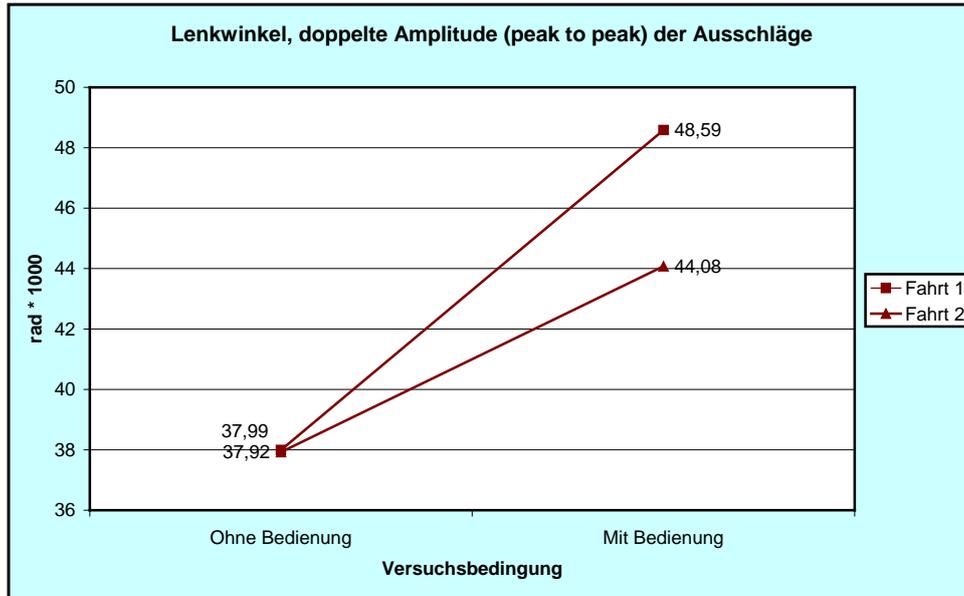


Abbildung 46. Lenkwinkel, doppelte Amplitude (peak to peak) der Ausschläge, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

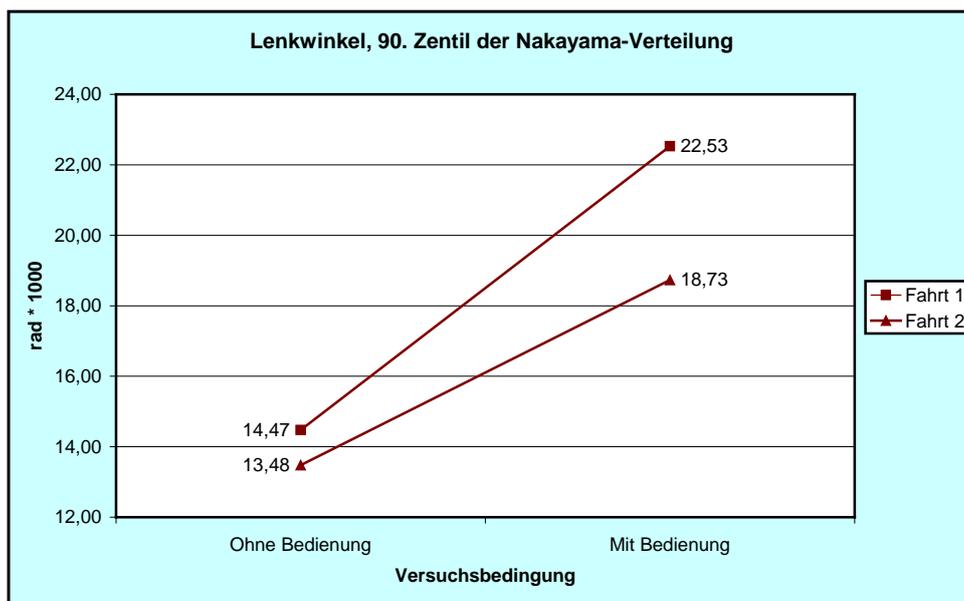


Abbildung 47. Lenkwinkel, 90. Zentil der Nakayama-Verteilung, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

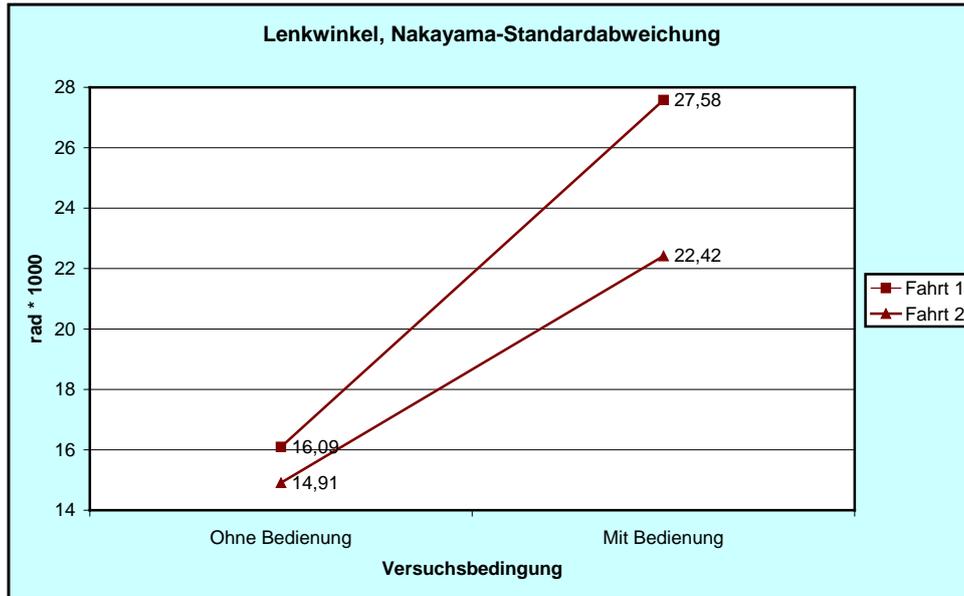


Abbildung 48. Lenkwinkel, Nakayama-Standardabweichung, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

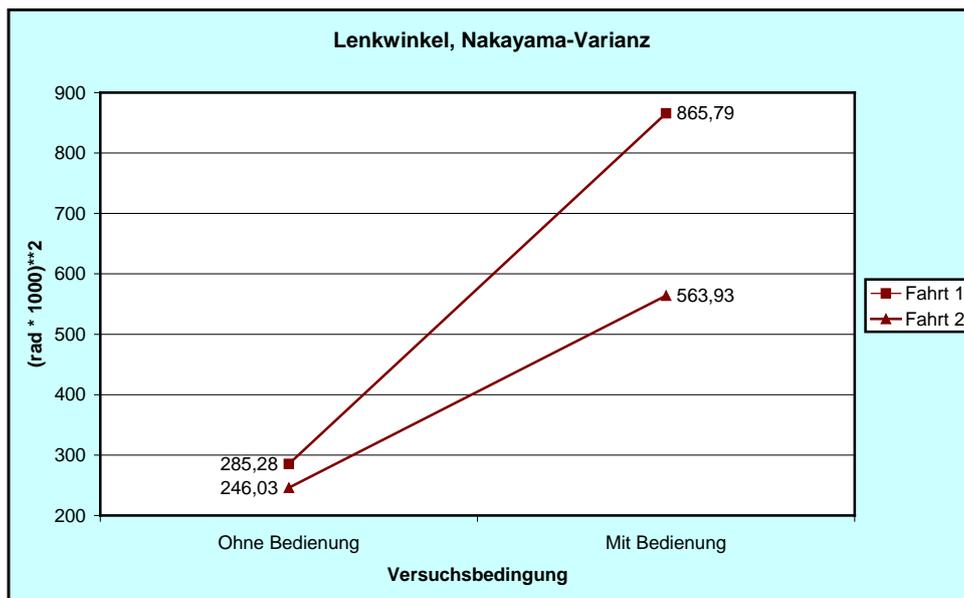


Abbildung 49. Lenkwinkel, Nakayama-Varianz, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

Vergleich inaktive und aktive Phase in den Abschnitten mit Bedienung

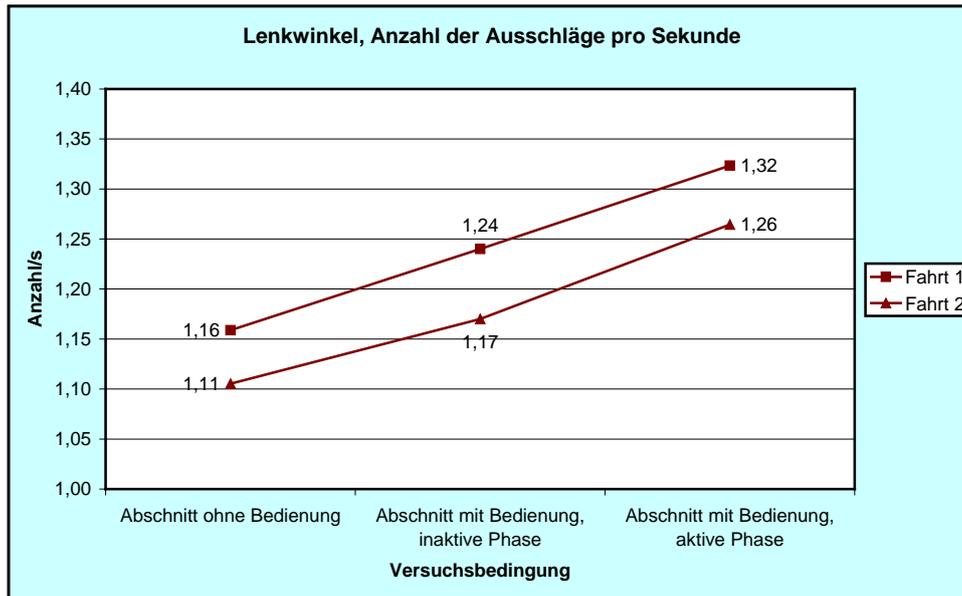


Abbildung 50. Lenkwinkel, Anzahl der Lenkausschläge pro Sekunde, Abschnitte mit und ohne Bedienung zwischen inaktiver und aktiver Phase aufgeteilt, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

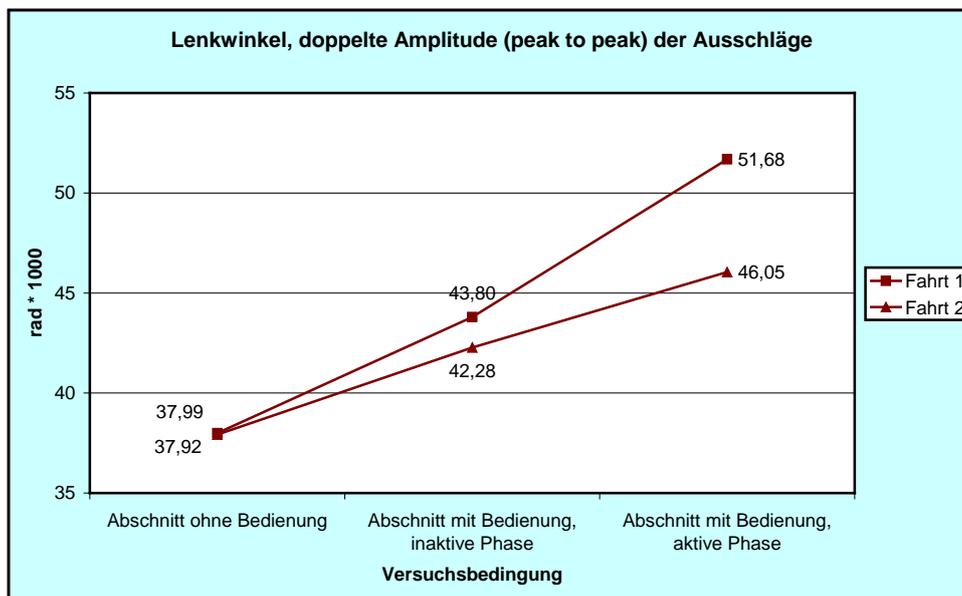


Abbildung 51. Lenkwinkel, doppelte Amplitude (peak to peak) der Lenkausschläge, Abschnitte mit und ohne Bedienung zwischen inaktiver und aktiver Phase aufgeteilt, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

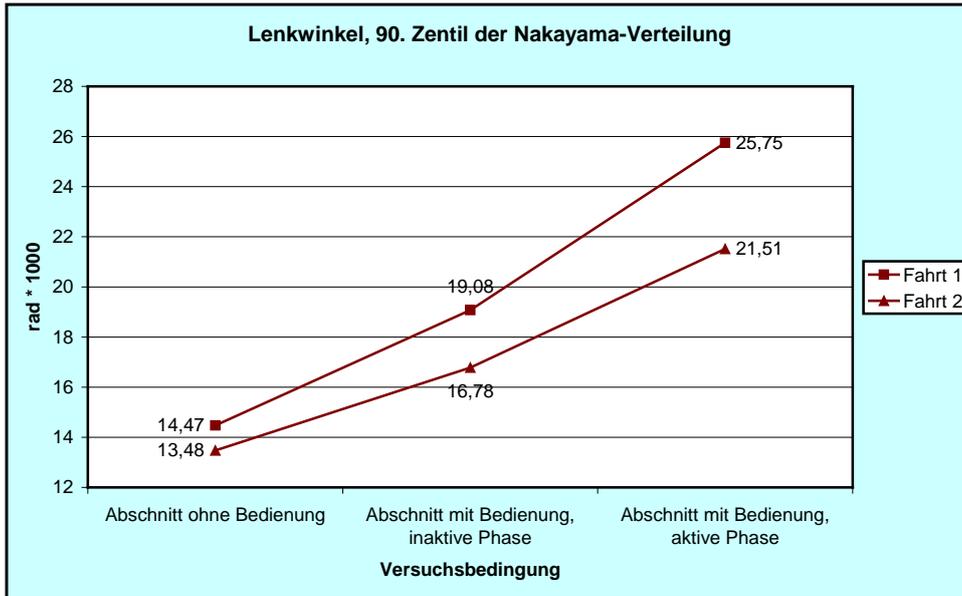


Abbildung 52. Lenkwinkel, 90. Zentil der Nakayama-Verteilung, Abschnitte ohne und mit Bedienung zwischen inaktiver und aktiver Phase aufgeteilt, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

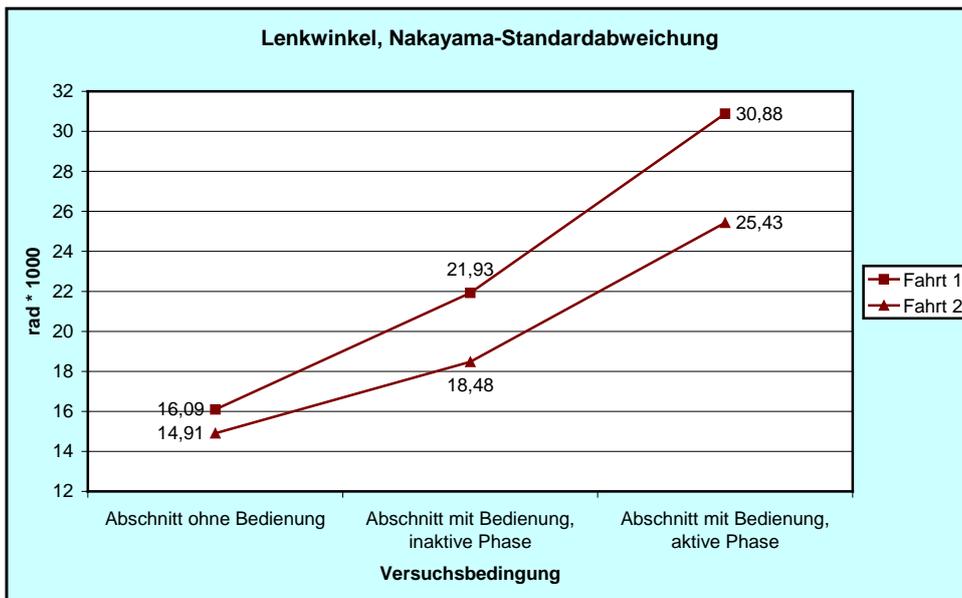


Abbildung 53. Lenkwinkel, Nakayama-Standardabweichung, Abschnitte ohne und mit Bedienung zwischen inaktiver und aktiver Phase aufgeteilt, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

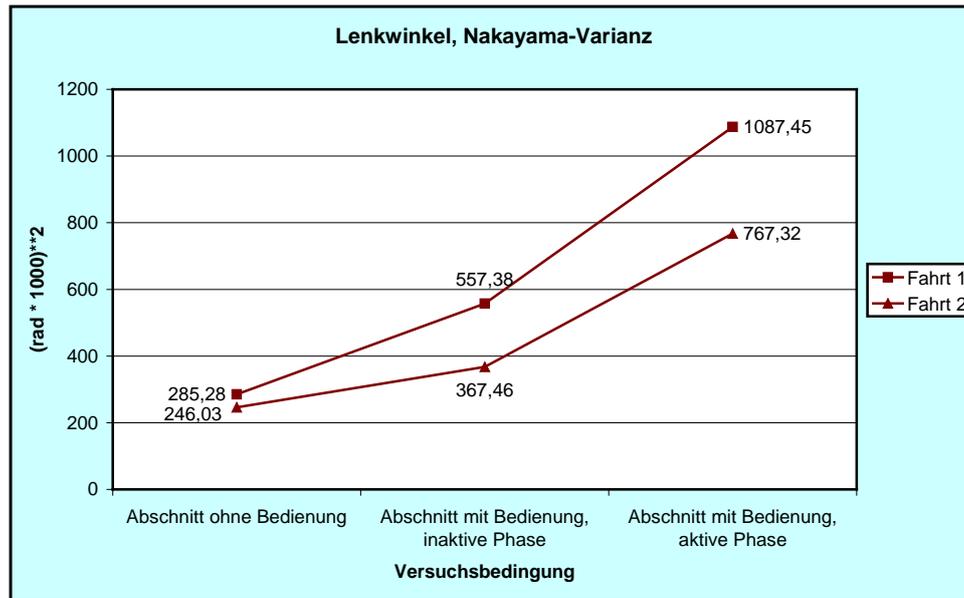


Abbildung 54. Lenkwinkel, Nakayama-Varianz, Abschnitte ohne und mit Bedienung zwischen inaktiver und aktiver Phase aufgeteilt, getrennt nach erster und zweiter Fahrt

Interpretation

Alle fünf zur Charakterisierung der Lenkbewegungen berechneten Maße (Abbildung 45 bis Abbildung 49) zeigen eine hoch signifikante Zunahme unter Bedieninstruktion (in allen Fällen $p < 0,01$): sowohl die Anzahl der Ausschläge pro Sekunde als auch die doppelte Amplitude der Ausschläge erhöhen sich ganz erheblich in Abschnitten *mit Bedienung*. Auch die statistischen Kenngrößen der Nakayama-Verteilung (90. Zentil, Standardabweichung und Varianz) zeigen hoch signifikante Unterschiede mit erheblichen Effektgrößen zwischen den Versuchsbedingungen. Nimmt man diese Maße nach Nakayama et al. (1999) als Indikatoren für die mentale oder visuelle Beanspruchung des Fahrers, so zeigt sich eine deutliche Zunahme dieser Beanspruchung unter Bedieninstruktion. Damit steht auch in Einklang, dass in allen Fällen bereits in der inaktiven Phase der Abschnitte *mit Bedienung* eine merkliche Zunahme der Zahlenwerte zu erkennen ist (Abbildung 50 bis Abbildung 54). Offensichtlich ist sowohl die Vorbereitung auf die Eingabe als auch die kontrollierende Nachbereitung nach der Eingabe mit einer erhöhten Beanspruchung verbunden.

Signifikanztests

Anzahl der Lenkausschläge pro Sekunde						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	0,21142000	1	0,21142000	61,22	0,0000	0,5313
Error(Fahrt)	0,18649350	54	0,00345358			
Bedingung	0,75312902	1	0,75312902	78,11	0,0000	0,5913
Error(Bedingung)	0,52065648	54	0,00964179			
Fahrt * Bedingung	0,00393136	1	0,00393136	0,62	0,4331	0,0114
Error(Fahrt * Bedingung)	0,34038814	54	0,00630348			
Doppelte Amplitude (peak to peak) der Lenkausschläge						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	288,32	1	288,32	7,47	0,0085	0,1215
Error(Fahrt)	2085,28	54	38,62			
Bedingung	3855,93	1	3855,93	74,33	0,0000	0,5792
Error(Bedingung)	2801,35	54	51,88			
Fahrt * Bedingung	271,17	1	271,17	3,07	0,0854	0,0538
Error(Fahrt * Bedingung)	4769,33	54	88,32			
Lenkwinkel, 90. Zentil der Nakayama-Verteilung						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	315,968	1	315,968	35,41	0,0000	0,3960
Error(Fahrt)	481,907	54	8,924			
Bedingung	2436,936	1	2436,936	199,49	0,0000	0,7870
Error(Bedingung)	659,647	54	12,216			
Fahrt * Bedingung	107,648	1	107,648	15,84	0,0002	0,2268
Error(Fahrt * Bedingung)	367,072	54	6,798			
Lenkwinkel, Standardabweichung der Nakayama-Verteilung						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	554,373	1	554,373	31,27	0,0000	0,3667
Error(Fahrt)	957,243	54	17,727			
Bedingung	4961,955	1	4961,955	143,03	0,0000	0,7259
Error(Bedingung)	1873,363	54	34,692			
Fahrt * Bedingung	218,063	1	218,063	10,04	0,0025	0,1568
Error(Fahrt * Bedingung)	1172,349	54	21,710			
Lenkwinkel, Varianz der Nakayama-Verteilung						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	1599858	1	1599858	19,63	0,0000	0,2666
Error(Fahrt)	4401380	54	81507			
Bedingung	11098157	1	11098157	65,75	0,0000	0,5490
Error(Bedingung)	9115403	54	168804			
Fahrt * Bedingung	948272	1	948272	10,45	0,0021	0,1621
Error(Fahrt * Bedingung)	4901240	54	90764			

Signifikanztests- Vergleich inaktive und aktive Phase in den Abschnitten mit Bedienung

Anzahl der Lenkausschläge pro Sekunde						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	0,305	1	0,305	55,34	0,0000	0,5061
Error(Fahrt)	0,298	54	0,006			
Bedingung	1,445	2	0,723	53,69	0,0000	0,4986
Error(Bedingung)	1,454	108	0,013			
Fahrt * Bedingung	0,004	2	0,002	0,24	0,7900	0,0044
Error(Fahrt * Bedingung)	0,896	108	0,008			
Lenkwinkel, doppelte Amplitude der Ausschläge						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	479,376	1	479,376	6,68	0,0125	0,1101
Error(Fahrt)	3875,584	54	71,770			
Bedingung	6553,373	2	3276,686	40,93	0,0000	0,4312
Error(Bedingung)	8645,841	108	80,054			
Fahrt * Bedingung	458,836	2	229,418	2,41	0,0944	0,0428
Error(Fahrt * Bedingung)	10268,776	108	95,081			
Lenkwinkel, 90. Zentil der Nakayama-Verteilung						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	519,298	1	519,298	31,71	0,0000	0,3699
Error(Fahrt)	884,425	54	16,378			
Bedingung	5184,424	2	2592,212	138,95	0,0000	0,7201
Error(Bedingung)	2014,799	108	18,656			
Fahrt * Bedingung	145,989	2	72,995	11,50	0,0000	0,1756
Error(Fahrt * Bedingung)	685,268	108	6,345			
Lenkwinkel, Nakayama-Standardabweichung						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	931,870	1	931,870	27,64	0,0000	0,3386
Error(Fahrt)	1820,654	54	33,716			
Bedingung	9001,462	2	4500,731	103,13	0,0000	0,6563
Error(Bedingung)	4713,461	108	43,643			
Fahrt * Bedingung	250,719	2	125,359	5,22	0,0068	0,0882
Error(Fahrt * Bedingung)	2591,381	108	23,994			
Lenkwinkel, Nakayama-Varianz						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	2765834	1	2765834,1	13,84	0,0005	0,2040
Error(Fahrt)	10789492	54	199805,4			
Bedingung	25402636	2	12701318,0	47,11	0,0000	0,4659
Error(Bedingung)	29117402	108	269605,6			
Fahrt * Bedingung	1086707	2	543353,4	3,95	0,0221	0,0682
Error(Fahrt * Bedingung)	14848183	108	137483,2			

6.3.12 Fahrlehrerurteile

Keine Vorgabe IVI & TUD (2005)

Sicherheitsurteil abschnittsweise

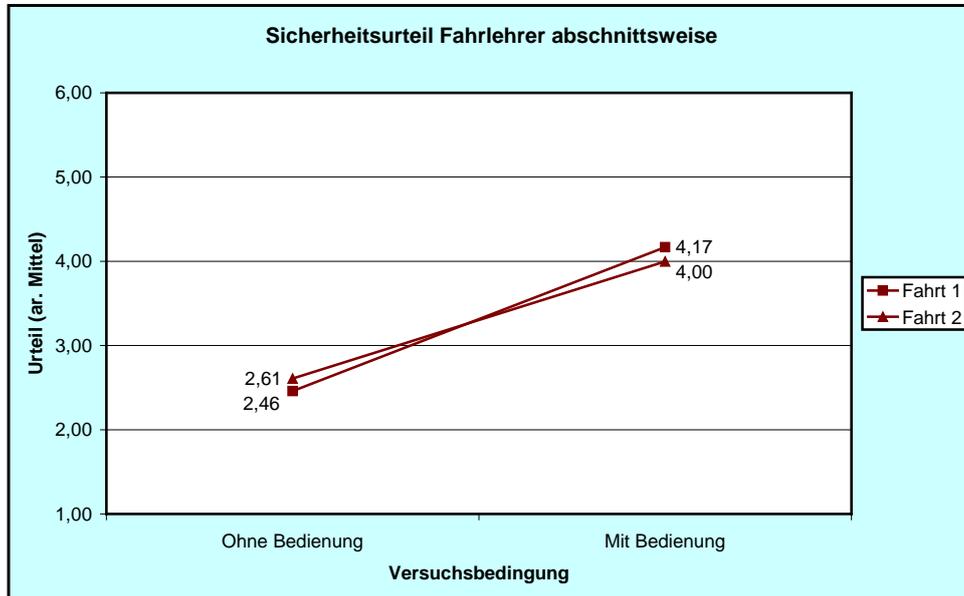


Abbildung 55. Sicherheitsurteil der Fahrlehrerin für die einzelnen Abschnitte, ohne und mit Bedienung. Urteile: 1 = „sehr sicher“ ... 6 = „sehr unsicher“ (Schulnoten)

Einzelfehler

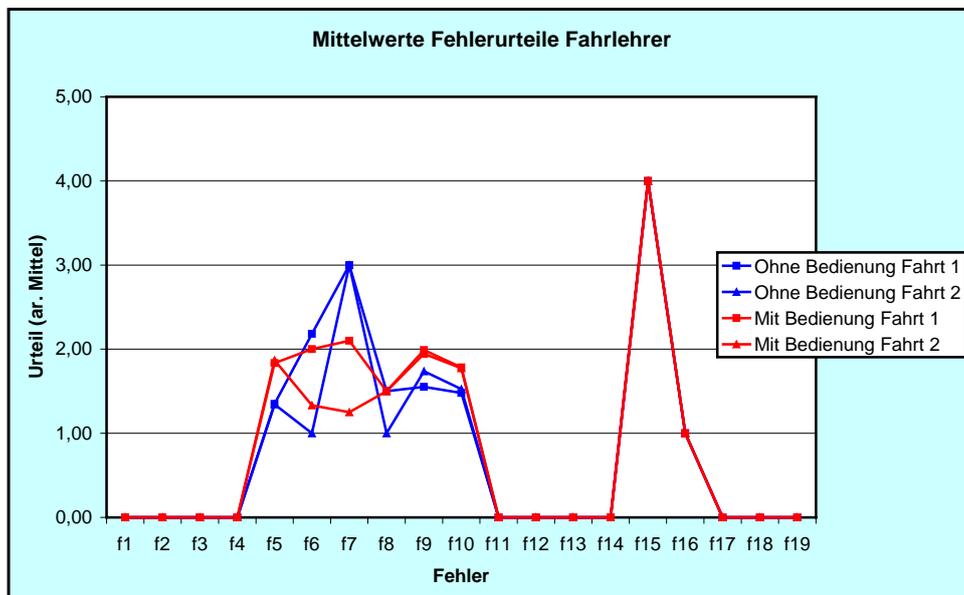


Abbildung 56. Mittelwerte der Fehlerurteile der Fahrlehrerin bei den Einzelfehlern, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt. Urteile: 1 = „keine Gefährdung erkennbar“, 2 = „geringe Gefährdung“, 3 = „erhebliche Gefährdung“, 4 = „extreme Gefährdung, Fahrlehrereingriff notwendig“. 0 bedeutet, dass das Fehlerurteil bei keiner

einzigsten Person vergeben wurde. Die Variablennamen der Fehler enthält Tabelle 8

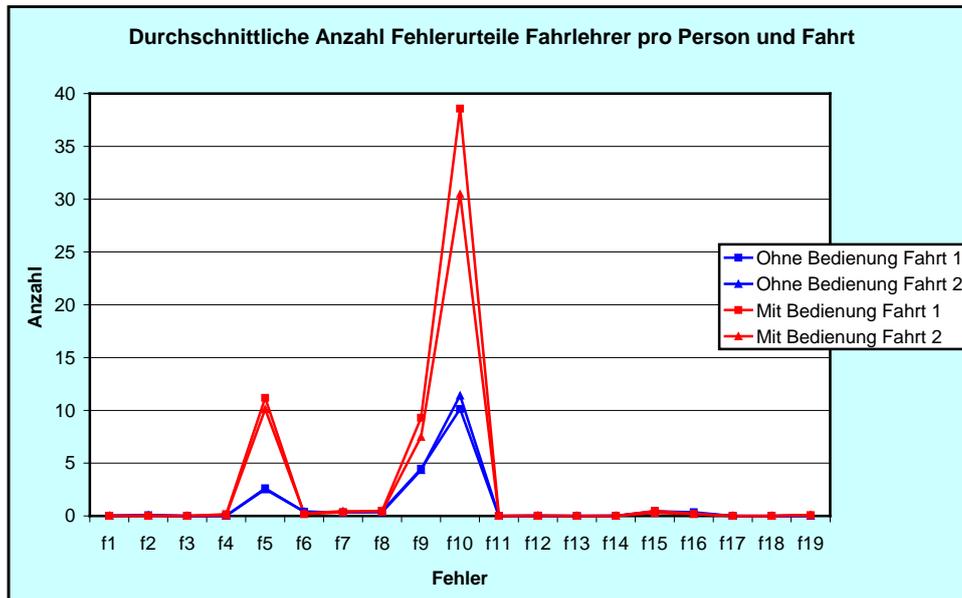


Abbildung 57. Durchschnittliche Anzahl der Fehlerurteile der Fahrlehrerin je Person und Fahrt bei den Einzelfehlern, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt. Die Variablennamen der Fehler enthält Tabelle 8

Tabelle 8. Variablenliste der Fehlerkategorien der Fahrlehrerin

Variable	Bedeutung
f1	Geschwindigkeit zu hoch für Begrenzung
f2	Geschwindigkeit zu hoch für Straßenverlauf
f3	Geschwindigkeit zu hoch für Sichtbedingungen
f4	Geschwindigkeit zu hoch für Fahrbahnzustand
f5	Geschwindigkeit zu niedrig für Verkehrssituation
f6	Längsabstand zu gering für Geschwindigkeit
f7	Längsabstand zu gering für Geschwindigkeitsdifferenz
f8	Zu späte Bremsreaktion
f9	Zu geringer Seitenabstand
f10	Unsicheres Spurhalten
f11	Zu geringe Zeitlücke beim Spurwechsel
f12	Lenk-/Stabilisierungsfehler beim Spurwechsel
f13	Überholen trotz Verbots
f14	Überholen mit Gefährdung
f15	Fehler beim Kreuzen/Abbiegen
f16	Blinken unterlassen
f17	Falsches Blinken
f18	Blickabwendung von der Straße
f19	Linksfahren bei freier rechter Spur

Interpretation

Das von der Fahrlehrerin abschnittsweise abgegebene globale Sicherheitsurteil spiegelt die beiden unterschiedlichen Fahrsituationen, *ohne* und *mit Bedienung*, sehr gut wider. Aus ihrer Sicht verschlechtert sich die Fahrsicherheit auf der Skala von 1 (*sehr sicher*) bis 6 (*sehr unsicher*) von durchschnittlich 2,5 auf 4,1, was mit allen bis hierher referierten objektiven Daten in Einklang steht (Abbildung 55). Die größte Häufigkeit unter den Fahrfehlern zeigt das Urteil *unsicheres Spurhalten* (Abbildung 57), das *mit Bedienung* knapp 40 mal (Fahrt 1) bzw. 30 mal (Fahrt 2) vergeben wurde, *ohne Bedienung* jedoch nur jeweils 10 mal (Unterschied s.; $p < 0,01$). Dies entspricht vollkommen den Daten aus Kapitel 6.3.5, die eine erhebliche Verschlechterung der Spurhaltung aufzeigten. Am zweit- und dritthäufigsten wurde das Urteil *zu geringer Seitenabstand* und *Geschwindigkeit zu niedrig* vergeben. In beiden Fällen war die Häufigkeit *mit Bedienung* signifikant höher als *ohne Bedienung* ($p < 0,01$). Dass das Urteil *Geschwindigkeit zu niedrig* unter Bedieninstruktion häufiger vergeben wurde, spiegelt die deutlich vorsichtigeren Fahrweise wieder, die die Vpn unter der Zusatzbelastung der Eingabe in das Navigationssystem wählen, die im Grenzfall, betrachtet man die Fahrsituation insgesamt, bereits unangemessen sein kann. Die meisten anderen Fahrfehler kamen nur extrem selten vor. Dies gilt vor allem für schwere Fehler wie z. B. *f15 (Fehler beim Kreuzen/Abbiegen)*, der mit dem Urteil 4 (*extreme Gefährdung, Fahrlehrereingriff notwendig*) bewertet wurde (Abbildung 56), aber während des gesamten Versuches nur einmal auftrat.

Signifikanztests

Sicherheitsurteil Fahrlehrerin abschnittsweise						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	0	1	0	0,02	0,8790	0,0004
Error(Fahrt)	17	54	0			
Bedingung	132	1	132	401,54	0,0000	0,8815
Error(Bedingung)	18	54	0			
Fahrt * Bedingung	1	1	1	5,47	0,0231	0,0919
Error(Fahrt * Bedingung)	14	54	0			
Fehlerzahlen Geschwindigkeit zu niedrig						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	18,618	1	18,618	1,26	0,2672	0,0227
Error(Fahrt)	799,882	54	14,813			
Bedingung	3584,291	1	3584,291	143,03	0,0000	0,7259
Error(Bedingung)	1353,209	54	25,059			
Fahrt * Bedingung	13,255	1	13,255	1,00	0,3226	0,0181
Error(Fahrt * Bedingung)	718,245	54	13,301			
Fehlerzahlen Seitenabstand zu gering						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	51,073	1	51,073	2,80	0,1001	0,0493
Error(Fahrt)	985,427	54	18,249			
Bedingung	872,018	1	872,018	69,71	0,0000	0,5635
Error(Bedingung)	675,482	54	12,509			
Fahrt * Bedingung	38,473	1	38,473	1,63	0,2078	0,0292
Error(Fahrt * Bedingung)	1278,027	54	23,667			
Fehlerzahlen Unsicheres Spurhalten						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fahrt	639,205	1	639,205	9,61	0,0031	0,1510
Error(Fahrt)	3593,545	54	66,547			
Bedingung	31035,314	1	31035,314	232,62	0,0000	0,8116
Error(Bedingung)	7204,436	54	133,415			
Fahrt * Bedingung	1205,568	1	1205,568	16,42	0,0002	0,2332
Error(Fahrt * Bedingung)	3965,182	54	73,429			

6.3.13 Rating scale of mental effort (RSME)

Nach IVI & TUD (2005, S. A/IV-1, Auswertung S. 160)

Das Maß wurde im Simulatorversuch nicht für die einzelnen Fahrten getrennt erhoben. Es zeigt sich eine deutliche Erhöhung in der subjektiven mentalen Belastung unter Bedieninstruktion (s.; $p < 0,01$). Abbildung 58 zeigt noch die Variable „Altersgruppe“. Die älteren Fahrer gaben eine unter beiden Versuchsbedingungen geringfügig niedrigere mentale Beanspruchung an. Der Unterschied ist nicht signifikant und sollte daher nicht interpretiert werden. Eine Wechselwirkung zwischen Versuchsbedingung und Alter fehlt völlig.

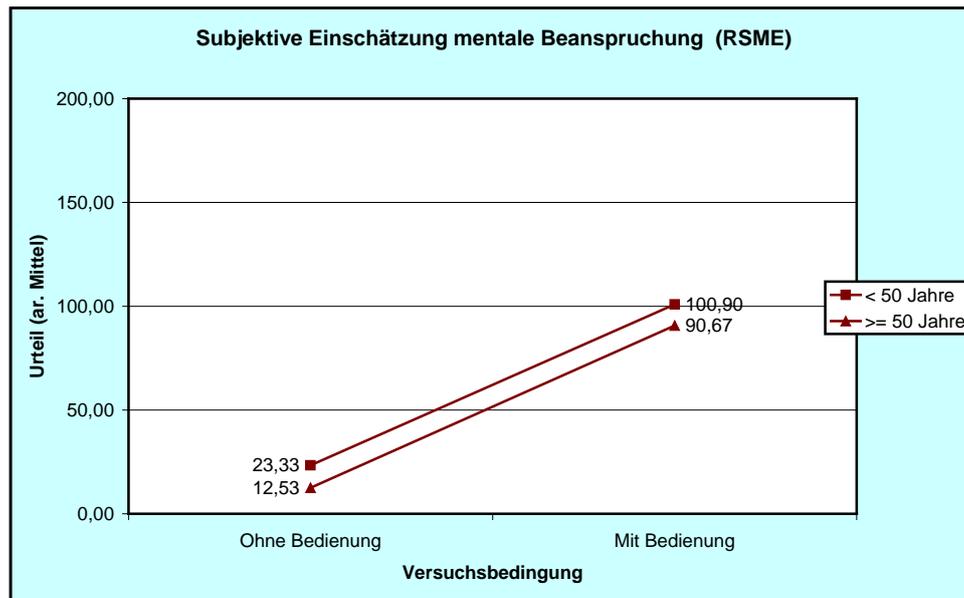


Abbildung 58. Subjektive Einschätzung der mentalen Beanspruchung (RSME), Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach Altersgruppen

Signifikanztest

RSME						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
RSME	133979,850	1	133979,850	128,530	0,0000	0,7003
Error(RSME)	57332,010	55	1042,400			
Altersgruppe	2445,955	1	2445,955	1,798	0,1855	0,0316
Error(Altersgruppe)	74840,010	55	1360,727			
RSME * Altersgruppe	1,745	1	1,745	0,002	0,9675	0,0000
Error(RSME * Altersgruppe)	57332,010	55	1042,400			

6.3.14 Situationsbewusstsein (Situation Awareness)

Zur Messung des Situationsbewusstseins fand nach der ersten Fahrt der in Abschnitt 4.3.3 beschriebene Wiedererkennungstest statt. Über den gesamten Fahrweg waren 10 verschiedene Warnzeichen nach StVO, Nummern 101 bis 144, je 5 in Abschnitten *ohne* und *mit Bedienung*, verteilt. Der Testbogen enthielt diese 10 Schilder und 10 Distraktoren in zufälliger Folge. Die Vp wurde instruiert, alle Schilder anzukreuzen, die sie im Verlauf der Fahrt gesehen hatte. Dabei wurde ihr gesagt, dass es 10 Schilder waren und sie dementsprechend 10 Schilder ankreuzen sollte. Wenn sie sich unsicher sei, sollte sie raten, bis die Zahl von 10 Antworten erreicht sei. Durch dieses Verfahren ergab sich ein Erwartungswert von 2,5 richtigen Antworten je Versuchsbedingung durch bloßes Raten.

Die Ergebnisse zeigen durchschnittlich 3,76 richtige Antworten für die Abschnitte *ohne Bedienung* und 2,62 richtige Antworten für die Abschnitte *mit Bedienung*. Der Unterschied ist hoch signifikant ($t(54) = 6,279$, $p < 0,001$). Das Verfahren hat sich also zur Messung des Situationsbewusstseins bewährt. Es vermeidet eine implizite Monitoringaufgabe, weil die Abfrage für die Vpn unerwartet kommt. Die unvermeidliche, aber nicht beabsichtigte Gedächtnisaufgabe dürfte nur eine untergeordnete Rolle spielen, weil nur eine leichte Wiedererkennungsaufgabe gestellt wird.

6.3.15 Auswertung nur Vorgängerprojekt

Im Simulatorversuch des Vorgängerprojektes wurden einige abhängige Variablen ausgewertet, die im vorliegenden Versuch nicht enthalten waren oder nicht systematisch berücksichtigt wurden. Es handelt sich um das *Einscheren vor ein anderes Fahrzeug mit zu geringer Zeitlücke* (IVI & TUD, 2005, S. 143), das *Einscheren mit Behinderung eines schnelleren Fahrzeugs* (IVI & TUD, 2005, S. 146), *Blickfehler beim Spurwechsel* (IVI & TUD, 2005, S. 149), *visuelle Beanspruchung, gemessen mit der peripheren Entdeckungsaufgabe (PDT)* (IVI & TUD, 2005, S. 154) sowie die *Lidschlussfrequenz* (IVI & TUD, 2005, S. 157).

6.4 Begleitfragebögen zu Person, Persönlichkeit und Einstellungen

6.4.1 Begleitfragebogen Fahrerleben

Die theoretischen Überlegungen zu den mitgeführten Fragebögen sind in Abschnitt 4.3.5 dargestellt. Im Begleitfragebogen zum Fahrerleben wurden die Antworten der Vpn mit 1 = *trifft voll zu*, 2 = *trifft eher zu*, 3 = *teils/teils*, 4 = *trifft eher nicht zu* und 5 = *trifft gar nicht zu* codiert. Die Rohdaten wurden einer gemeinsamen Faktorenanalyse für die Versuchspersonen des Simulator- und des Straßenversuches unterzogen. Dabei wurden nur die n = 114 Personen einbezogen, deren Daten aus dem Simulator- oder Straßenfahrversuch auswertbar waren. Das Scree-Plot zeigt Abbildung 59. Es legt die Extraktion von fünf oder sechs Faktoren nahe. Wir haben die Fünf-Faktoren-Lösung gewählt, mit der sich fünf gut interpretierbare und reliable Skalen bilden lassen.

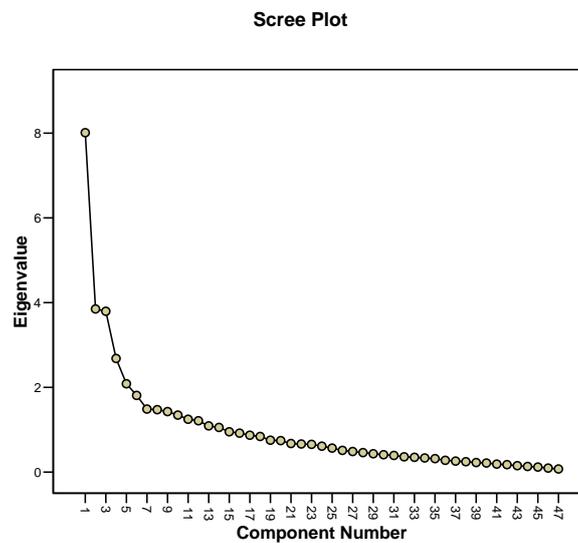


Abbildung 59. Scree-Plot Faktorenanalyse Begleitfragebogen zum Fahrerleben

Tabelle 9. Rotierte Faktorenmatrix Begleitfragebogen zum Fahrerleben (Hauptkomponentenmethode, Varimax-Rotation)

Variable, Frage	Compo-					h _i ²	
	nent	1	2	3	4		5
erlebd01 Autofahren ist für mich auch eine sportliche Herausforderung.			,172	,104	,723		,566
erlebd02 Ich fahre ungern Strecken, die ich nicht kenne.	,539	,192	-,224	-,150	,142		,420
erlebd03 Ich erfasse komplexe Verkehrssituationen sehr schnell.	-,242		,565	,204			,425
erlebd04 Ich fahre ungern nachts Auto.	,538						,299
erlebd05 Ich fahre ungern lange Strecken mit dem Auto.	,595		-,196	-,254	-,212		,505
erlebd06 Ich fühle mich im Verkehr häufig überfordert.	,452	,136	-,191	-,176			,290
erlebd07 Ich beherrsche mein Fahrzeug auch in Grenzsituationen.			,638	,293			,497
erlebd08 Schnell mit dem Auto zu fahren, macht mir Spaß.		,234		,755	-,119		,640
erlebm01 Ich fahre sehr gern auf kurvenreichen Strecken.				,583			,354
erlebm02 Beim Autofahren lasse ich mich kaum aus der Ruhe bringen.	-,183		,635				,455

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung

Variable, Frage	Compo-					h_i^2	
	nent	1	2	3	4		5
erlebm03 Wenn irgend möglich vermeide ich es, in einer fremden Stadt Auto zu fahren.	,692			-,135	-,112		,517
erlebm04 Es macht mir Spaß, im Verkehrsgetümmel mitzumischen.	-,295				,403	,102	,268
erlebm05 Mir wird sehr unwohl, wenn ich ein Einsatzfahrzeug mit Blaulicht sehe.	,384	-,106					,172
erlebm06 Beim Autofahren kann ich so richtig entspannen.				,274	,201		,129
erlebm07 Es passiert mir oft beim Autofahren, dass ich wegen anderer Verkehrsteilnehmer erschrecke.	,578			-,121	,136	,139	,389
erlebm08 Raser auf der Autobahn ängstigen mich.	,345	-,242			-,160	,524	,482
erlebm09 Nach einer längeren Autofahrt fühle ich mich sehr angespannt.	,475	-,233	-,327				,395
erlebm10 Wenn ich die Spur wechseln muss, werde ich nervös.	,705			-,319	-,130		,616
erlebm11 Beim Autofahren denke ich oft daran, was alles passieren kann.	,540			-,123	,262		,378
erlebm12 Wenn ich ein riskantes Überholmanöver sehe, ängstigt mich dies, auch wenn ich selbst nicht gefährdet bin.	,504	-,211				,300	,399
erlebm13 Autofahren kann ich so richtig genießen.	-,230	,105	,241		,582	,282	,540
erlebm14 Ich bemühe mich, immer ein Auto zu fahren, das in Bezug auf Sicherheit auf dem neuesten Stand ist.		,578	,189		,185	,343	,522
erlebf01 Wenn ein neues System für Autos auf den Markt kommt, z. B. ein Wegleitsystem, möchte ich es sofort haben.		,715	,172		,259	,190	,645
erlebf02 Ich erkunde eine fremde Stadt gern ohne Hilfe, auch wenn ich nicht am geplanten Punkt herauskomme.		-,385	,161				,184
erlebf03 In einem Fahrzeug-Cockpit mit vielen Schaltern und Anzeigen fühle ich mich gar nicht wohl.	,441	-,262					,271
erlebf04 Wenn Freunde in meinem Auto mitfahren, zeige ich schon gerne, wie PS-stark mein Auto ist.	,283	,350			,474	-,321	,532
erlebf05 Ich vermeide Fahrmanöver, die gefährlich sind.		,144	,229		-,341	,380	,334
erlebf06 Bedienungsanleitungen lese ich eigentlich nie. Lieber probiere ich aus, wie etwas funktioniert.			,121			-,565	,339
erlebf07 Bei einem privaten Autorennen auf dem Nürburgring mitzufahren, würde mir großen Spaß machen.	-,102		,100		,647		,451
erlebf08 Beim Autoradio genügt es mir, die Hauptfunktionen zu kennen. Weitere Funktionen interessieren mich nicht.	,400	-,524			-,195		,474
erlebf09 Wenn ich am Computer arbeite, habe ich immer mehrere Anwendungen geöffnet und springe zwischen ihnen hin und her.		,117				-,436	,215
erlebf10 Beim Autofahren schalte ich mein Handy aus, um nicht gestört zu werden.	,195	-,257			-,104	,556	,427
erlebf11 Wenn ich ein neues Gerät habe, probiere ich sofort aus, was man alles damit machen kann.	-,148	,684					,500
erlebf12 Ein Fahrzeug mit Automatik-Schaltung fahre ich lieber als eines mit Schaltgetriebe.		,457			,111		,225
erlebf13 Gespräche mit dem Beifahrer stören mich, wenn ich mich in einer Fahrsituation konzentrieren muß.	,457	-,410			-,107	,188	,424
erlebf14 Die Vorschrift, im Fahrzeug nur Handys mit Freisprech-Einrichtung zu verwenden, halte ich für übertrieben.						-,426	,205
erlebf15 Ich arbeite lieber mit Geräten, die mir vertraut sind.	,477	-,413	,133				,424
erlebf16 Wenn ich auf Reisen gehe, plane ich sehr sorgfältig die Reiseroute.	,148	,195	,200			,471	,322
erlebf17 Für mich ist das Auto nicht nur ein Transportmittel. Autofahren soll Spaß machen!		,414	,306		,539		,564
erlebf18 Bei technischen Produkten möchte ich immer das Neueste haben.		,673	,298		,210		,592
erlebf19 Ich halte mich an die Geschwindigkeitsbegrenzungen, auch wenn sie mir oft nicht sinnvoll erscheinen.		,167	,116		-,207	,674	,545

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung

Variable, Frage	Com- po- nent					h_i^2
	1	2	3	4	5	
erlebf20 Beim Kauf von neuen Geräten bevorzuge ich diejenigen, die viele Funktionen beinhalten.		,677	,315		-,257	,624
erlebg01 Ich bin ein sehr guter Autofahrer.	-,249	,122	,717	,198		,630
erlebg02 Mir unterlaufen während des Fahrens fast nie Fehler.		,201	,665	-,107		,500
erlebg03 Es kommt vor, dass sich meine Stimmung nachteilig auf mein Fahrverhalten auswirkt.	,120	-,281	-,560	,105		,419
erlebg04 Ich bin ein außerordentlich sicherer Autofahrer.			,765		,177	,631
erlebg05 Ich halte mich eigentlich immer an die Verkehrsregeln.	-,137	,201	,395	-,273	,630	,688

Die fünf Faktoren lassen sich gut als (1) *Ängstlichkeit, Furcht vor Überlastung oder Überforderung*, (2) *Begeisterung für die Technik*, (3) *Selbstbewusstsein, Selbstsicherheit als Fahrer*, (4) *Freude am Fahren* und (5) *Norm- und Regelorientierung* interpretieren. Aus diesen fünf Faktoren wurden fünf Skalen *erl1* bis *erl5* gebildet. Der Score ist das arithmetische Mittel aus den Maßzahlen aller Variablen, die auf dem jeweiligen Faktor ihre höchste Ladung haben. Tabelle 10 gibt die Reliabilitäten (Cronbachs α) wieder. Da sie allesamt den Zahlenwert 0,700 überschreiten, können die Skalen als reliabel angesehen und in den späteren Analysen entsprechend verwendet werden.

Tabelle 10. Eigenschaften der fünf Fahrerlebensskalen

Faktor	Varianzanteil nach der Rotation %	Reliabilität der Skala α	Zahl der Items	Bezeichnung
erl1	10,3	0,814	14	Ängstlichkeit, Furcht vor Überlastung oder Überforderung
erl2	9,1	0,787	8	Begeisterung für die Technik
erl3	9,0	0,785	8	Selbstbewusstsein, Selbstsicherheit als Fahrer
erl4	8,2	0,800	8	Freude am Fahren
erl5	6,0	0,701	9	Norm- und Regelorientierung
	Summe 43,5			

6.4.2 DBQ

Wir verwendeten die in Parker et al. (1995, S. 1039) veröffentlichte Kurzform des DBQ (*Driver Behaviour Questionnaire*) mit 24 Items. Dabei wählten wir in enger Anlehnung an das englische Original die sechs Antwortkategorien *nie*, *fast nie*, *selten*, *gelegentlich*, *häufig* und *sehr häufig*. Diese wurden verbal vorgegeben und mit den Ziffern von 0 (*nie*) bis 5 (*sehr häufig*) codiert. Alle Items der uns vorliegenden deutschen Übersetzung wurden gründlich überarbeitet, da sie sprachliche Mängel aufwiesen (s. Kapitel 4.3.5). Den neuen Text enthält Tabelle 11.

Die Daten wurden einer Faktorenanalyse mit Hauptkomponenten-Extraktion und Varimax-Rotation für alle $n = 114$ Vpn beider Experimente, deren Daten aus dem Simulator- oder Straßenfahrversuch auswertbar waren, unterzogen. Das Scree-Plot in Abbildung 60 zeigt einen ersten Faktor, der einen sehr hohen Anteil von 40,8 % der Gesamtvarianz erklärt. Das ist besonders bemerkenswert, da Parker et al. (1995, S. 1040) für drei Faktoren zusammengenommen bei ihrer Untersuchung an 1656 Personen nur 37,4 % berichten. Die nächsten beiden Faktoren erklären noch 7,8 bzw. 6,4 % der Gesamtvarianz, sind also relativ bedeutungsarm. Darunter leidet die Bestimmung der Faktoren 2 und 3 bei der Varimax-Rotation. Die drei Reason-Faktoren *Lapse*, *Error* und *Violation*, eingedeutscht *Schnitzer*, *Fehler* und *Aggression*, konnten zwar reproduziert werden, 9 Variablen wurden dabei aber anderen Faktoren zugeordnet, als in den Arbeiten von Reason et al. (1990) und Parker et al. (1995). Die Faktorenstruktur des eingedeutschten Tests ist in unseren beiden Expe-

rimenten nicht so stabil, wie die englischen Originalarbeiten erwarten lassen. Trotzdem haben wir die drei Skalen des Originals gebildet. Die Zuordnung der Items zu den Faktoren zeigt Tabelle 11. Angesichts des Resultates der Faktorenanalyse haben wir auch erwogen, die Items den Faktoren so zuzuordnen wie im englischen Original. Die zugehörige konfirmatorische Faktorenanalyse lieferte jedoch ein schlechteres Ergebnis ($\chi^2 = 462$, $df = 255$, $p < 0,0001$) als die konfirmatorische Faktorenanalyse mit der hier gefundenen Zuordnung ($\chi^2 = 439$, $df = 257$, $p < 0,0001$).

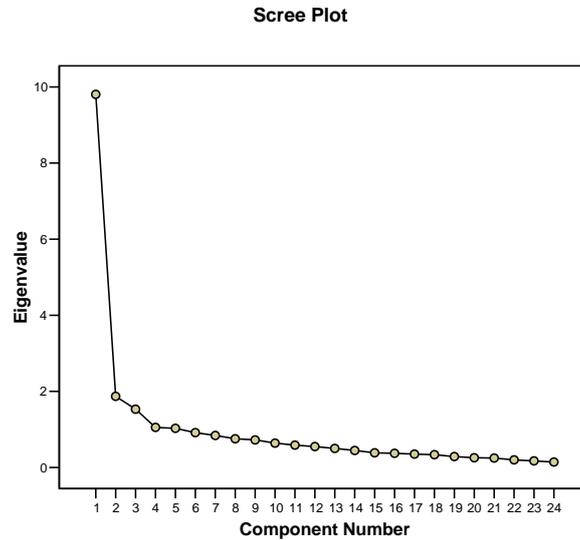


Abbildung 60. Scree-Plot der Faktorenanalyse der 24 DBQ-Fragen

Tabelle 11. Rotierte Faktorenmatrix für die 24 DBQ-Variablen in beiden Experimenten

Item	Compo-	2	3	h_i^2
	nent			
	1			
dbq01 Sie versuchen, im falschen Gang an der Ampel anzufahren.	,634		,130	,419
dbq02 Sie ärgern sich über ein auf der Autobahn links fahrendes langsames Fahrzeug und überholen es rechts.		,428	,513	,446
dbq03 Sie fahren dicht auf ein vorausfahrendes Fahrzeug auf, um dem Fahrer zu signalisieren, dass er schneller fahren oder Ihre Spur verlassen soll.		,232	,755	,624
dbq04 Sie versuchen, jemanden zu überholen und bemerken nicht, dass er bereits nach links blinkt und abbiegen möchte.	,634	,356		,539
dbq05 Sie haben vergessen, wo Sie das Auto im Parkhaus oder auf dem Parkplatz abgestellt haben.	,541	,257	,118	,372
dbq06 Sie betätigen aus Versehen einen Schalter (z. B. für den Blinker), obwohl Sie eigentlich einen anderen betätigen wollten (z. B. für die Scheibenwischer).	,688	,256		,544
dbq07 Sie stellen fest, dass Sie eigentlich nicht genau wissen, wie die Strecke aussah, die Sie gerade gefahren sind.	,683		,201	,508
dbq08 Sie fahren noch über eine Ampel, obwohl Sie wissen, dass Sie eigentlich anhalten müssten.	,386	,205	,671	,641
dbq09 Sie bemerken beim Abbiegen Fußgänger nicht, die die Straße überqueren.	,611	,269	,400	,605
dbq10 Sie ärgern sich über einen anderen Fahrer und jagen ihm hinterher, um ihm zu zeigen, was Sie von ihm halten.	,313	,638	,158	,530
dbq11 Sie erwischen am Kreisverkehr die falsche Ausfahrt.	,632	,442		,594
dbq12 Sie halten sich nachts oder bei wenig Verkehr nicht an Geschwindigkeitsbegrenzungen.	,155	,121	,761	,618

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung

dbq13 Sie biegen nach rechts ab und stoßen beinahe mit einem geradeaus fahrenden Radfahrer zusammen.	,504	,669		,701
dbq14 Sie achten beim Einbiegen in eine Vorfahrtsstraße so sehr auf den dortigen Verkehr, dass Sie beinahe auf den Vordermann auf Ihrer Spur auffahren.	,372	,608	,155	,532
dbq15 Sie fahren, obwohl Sie wissen, dass Sie möglicherweise mehr Alkohol getrunken haben als erlaubt.	,361	,186	,436	,355
dbq16 Sie haben eine Abneigung gegen eine bestimmte Art von Autofahrern und Sie zeigen ihnen das, wo immer Sie können.		,743	,253	,619
dbq17 Sie unterschätzen beim Überholen die Geschwindigkeit eines entgegenkommenden Fahrzeugs.	,531	,383	,314	,527
dbq18 Sie fahren beim Zurückstoßen gegen etwas, was Sie vorher nicht gesehen haben.	,405	,683		,636
dbq19 Sie wollen nach A fahren und merken plötzlich, dass Sie sich auf dem Weg nach B befinden, z. B. weil Sie sonst immer nach B fahren.	,553	,388	,172	,486
dbq20 Sie ordnen sich vor einer Kreuzung in die falsche Spur ein.	,680	,344	,157	,606
dbq21 Sie übersehen ein "Vorfahrt gewähren"-Schild und stoßen beinahe mit einem bevorrechtigten Verkehrsteilnehmer zusammen.	,625	,390	,196	,581
dbq22 Sie schauen beim Spurwechsel, vor dem Aussteigen, etc. nicht in den Rückspiegel.	,404		,513	,427
dbq23 Sie lassen sich auf Wettrennen mit anderen Autofahrern ein.	,128	,683	,428	,667
dbq24 Sie bremsen auf rutschiger Fahrbahn zu scharf oder lenken nicht richtig, so dass sie ins Schleudern kommen.	,264	,705	,249	,629

Tabelle 12. Eigenschaften der drei eingedeutschten DBQ-Skalen

Faktor	Varianzanteil nach der Rotation %	Reliabilität der Skala α	Zahl der Fragen	Bezeichnung
db1	22,7	0,895	11	Schnitzer (lapse)
db2	19,3	0,883	7	Fehler (error)
db3	13,0	0,775	6	Aggression (violation)
	Summe 55,0			

Die Reliabilität (Cronbachs α) überschreitet bei allen drei DBQ-Skalen den Wert 0,700, so dass diese bei den folgenden Auswertungen uneingeschränkt verwendet werden können.

6.4.3 Begleitfragebogen Selbstbeurteilung Eingabehandlung

Der Begleitfragebogen enthielt einen Abschnitt mit neun Behauptungen dazu, wie das Eingeben von Daten in das Navigationssystem subjektiv erlebt wurde. Die Antworten der Vpn wurden, wie bei den Fragen zum Fahrerleben, mit 1 = *trifft voll zu*, 2 = *trifft eher zu*, 3 = *teils/teils*, 4 = *trifft eher nicht zu* und 5 = *trifft gar nicht zu* codiert. Die Resultate wurden einer Faktorenanalyse für alle $n = 114$ Vpn beider Experimente, von denen der Simulator- oder Straßenfahrversuch auswertbar war, unterzogen. Das Scree-Plot zeigt Abbildung 61. Es legt die einfaktorielle Verwendung der Daten aus diesen Fragen nahe.

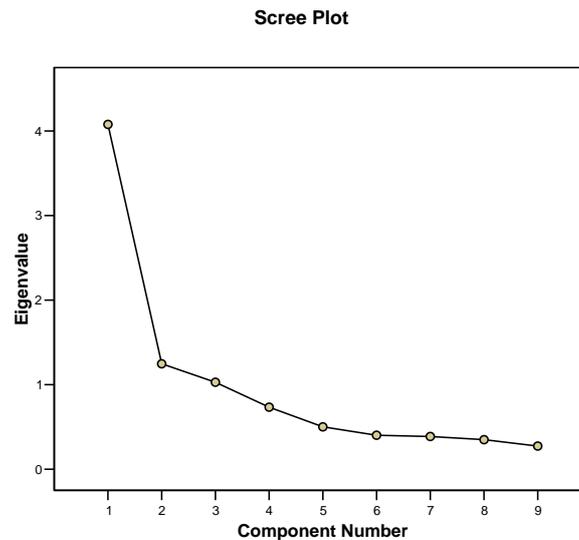


Abbildung 61. Scree-Plot zur Faktorenanalyse der Selbstbeurteilung der Eingabehandlung

Tabelle 13. Rotierte Faktorenmatrix Begleitfragebogen zur Selbstbeurteilung der Eingabehandlung (Hauptkomponentenmethode, Varimax-Rotation)

	Component			h_i^2
	1	2	3	
subjer1 Ich wurde durch das Eingeben vom Autofahren abgelenkt.	,768	,192		,627
subjer2 Ich fuhr während des Eingebens langsamer als sonst.	,660		,375	,582
subjer3 Ich fuhr während des Eingebens schlechter als sonst.	,810	,210		,701
subjer4 Ich habe in diesen Phasen mehr Fahrfehler gemacht als sonst.	,847	,128	-,151	,757
subjer5 Ich habe nicht sofort eingegeben, wenn die Aufforderung kam, sondern gewartet, bis es die Verkehrssituation erlaubte.		,118	,952	,920
subjer6 Das Eingeben hat das Autofahren anstrengender gemacht.	,604	,401	,197	,565
subjer7 Ich musste beim Eingeben zu lange den Blick von der Straße wenden.	,712	,346		,629
subjer8 Das Bedienen von Navigationssystemen während der Fahrt sollte verboten werden.	,307	,822		,770
subjer9 Bei Autofahrern, die weniger routiniert sind als ich, bedeutet das Bedienen solcher Systeme während der Fahrt ein erhebliches Sicherheitsrisiko.		,886		,802

Wie sowohl Tabelle 13 als auch das Scree-Plot zeigen, erfassen sechs der neun Fragen eine Dimension, die sich als *Beeinträchtigung des Fahrens durch die Eingabe* interpretieren lässt. Der Varianzanteil des ersten Faktors der Extraktion beträgt 45,3 %. Die beiden Variablen 8 und 9 drücken Meinungen über die Auswirkungen der Bedienhandlung auf das Fahren bei anderen Personen aus und werden bei der Rotation zu einem eigenen Faktor. Variable 5 schließlich fällt mit einem eigenen, dritten Faktor mit der Ladung 0,952 aus dem Fragerahmen heraus. Hier wird ein konkretes Verhaltensdetail abgefragt, das nicht mit der erlebten Beeinträchtigung des Fahrens korrelieren muss. Macht man aus den neun Fragen durch Mittelwertbildung eine einzige Skala, so ergibt sich deren Reliabilität zu $\alpha = 0,830$. Durch Weglassen der Fragen 5, 8 und 9 lässt sich diese auf $\alpha = 0,859$ steigern.

7 Experiment 2: Der Straßenfahrversuch, Methode

Experimentell gewonnene Erkenntnisse zur Verkehrssicherheit haben nur Wert, wenn sie auch für den wirklichen Straßenverkehr gelten. Simulatorversuche haben den großen Vorteil, dass sich bestimmte, vor allem dynamische, Verkehrssituationen als unabhängige Variablen so präzise manipulieren lassen, dass bei den Vpn messbare Effekte resultieren. Die methodischen Freiheitsgrade des Experimentators sind hier wesentlich größer als beim Straßenversuch. Andererseits bleibt oft unklar, inwieweit die Ergebnisse auf den realen Straßenverkehr übertragbar sind. Ein Versuch im Straßenverkehr hat demgegenüber unzweifelhaft eine hohe ökologische Validität. Bestimmte, vor allem gefährliche, Situationen lassen sich aber überhaupt nicht aufsuchen oder willkürlich herbeiführen, und viele Stufen der unabhängigen Variablen, vor allem die dynamische Verkehrssituation, lassen sich nicht experimentell manipulieren, sondern nur hinnehmen und auswerten wie sie vorgefunden werden. Das entspricht der klassischen Definition des Quasi-Experiments, das bei der Aufklärung kausaler Zusammenhänge dem Experiment deutlich unterlegen ist (Campbell & Stanley, 1963). Der Vergleich eines Simulatorexperimentes mit einem möglichst ähnlichen Straßenfahrversuch ist deshalb ein immer wieder auftretendes Desiderat. In diesem Projekt wurde es erfüllt.

Die erste Hypothese des Straßenversuchs war es deshalb, dass sich die Zieleingabe in das Navigationssystem auf die Fahrfehlervariablen in gleicher Weise und Stärke auswirken sollte wie im Simulatorversuch. Für einen Teil der Vpn wurde eine zweite unabhängige Variable hinzugefügt, die Fahrt mit einem Abstandstempomaten ACC. Die zugehörigen Hypothesen beziehen sich auf den Haupteffekt und die Wechselwirkung mit der Bedienung des Navigationssystems. Die Haupteffekthypothese besagt, dass die Menge der abhängigen Fahrfehlervariablen einen Sicherheitsgewinn durch die Fahrt mit dem ACC anzeigen sollte. Bezüglich der Wechselwirkung wurde keine spezifische Hypothese aufgestellt, hier wurde das Experiment exploratorisch verstanden: Die Resultate sollten zeigen, ob sich die Eingabe in das Navigationssystem bei der Fahrt ohne und mit ACC unterschiedlich auswirkt.

7.1 Versuchspersonen

Es war wie im Simulatorversuch geplant, von 60 Vpn auswertbare Daten zu gewinnen. Insgesamt nahmen 61 Vpn teil. Bei einer Person wurde der Versuch abgebrochen, da sie so problematische Fahrleistungen zeigte, dass nach dem Urteil der Fahrlehrerin die Zusatzaufgabe, während der Fahrt Navigationsdaten einzugeben, nicht mehr gestellt werden konnte. Eine zweite Vp hatte so große Schwierigkeiten, die Zusatzaufgabe innerhalb der dafür vorgesehenen Straßenabschnitte zu bewältigen, dass wir ihren Datensatz zur Verringerung der Fehlervarianz bei der Auswertung nicht berücksichtigt haben. Es verblieben die Daten von 59 Vpn.

Die Vpn wurden im Versuchspersonenpool von MTO, Psychologische Forschung und Beratung GmbH, Tübingen, angeworben. Alle Vpn fuhren unter der Versuchsbedingung *ohne ACC* (Tempomat mit Abstandsregelung). Eine Teilmenge der Vpn unternahm eine weitere Fahrt *mit ACC* (siehe Versuchsplan). Für diese Bedingung wurden Vpn, die eine längere Erfahrung mit ACC-Systemen vorweisen konnten, unter den Mitarbeitern der Partnerunternehmen in der Region, DaimlerChrysler AG, Stuttgart-Untertürkheim, und Robert Bosch GmbH, Schwieberdingen, angeworben. Die Versuchsteilnahme wurde mit 20 € pro Stunde vergütet. Das Lebensalter der Vpn lag zwischen 24 und 64 Jahren mit $M = 42,4$, $s = 10,1$ und $Md = 43,0$ Jahren. Die Verteilung zeigt Abbildung 62. Über 50 Jahre alt waren 11 Personen. Nur Männer nahmen am Versuch teil. Eine weitere Voraussetzung war, dass die Vpn ohne Brille Auto fahren konnten, um die Blickbewegungsregistrierung nicht zu beeinträchtigen.

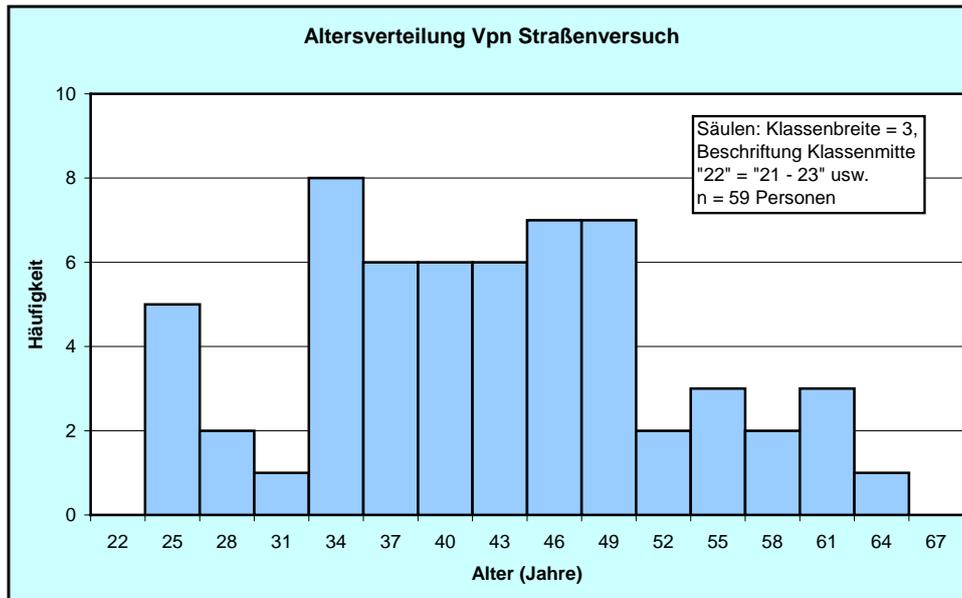


Abbildung 62. Die Altersverteilung der Vpn im Straßenversuch

Mit einem Fragebogen wurden einige allgemeine Daten zum Autofahren erhoben. Die jährliche Fahrleistung mit dem Pkw wurde von 10,2 % (6 Personen) mit weniger als 10.000 km angegeben; 42,4 % gaben 10.000 bis 20.000 km, 25,4 % 20.000 bis 30.000 km und 22,0 % mehr als 30.000 km an. Als Punktestand im Verkehrszentralregister gaben 67,8 % „0“ an; 23,8 % (14 Personen) nannten etwa gleichverteilt Zahlen zwischen „1“ und „3“, je eine Person nannte „4“ und „6“, drei Personen machten keine Angabe. Über ihren Schadenfreiheitstarif in der Kraftfahrzeugversicherung gaben 72,9 % der Vpn Auskunft; von diesen hatten 88,4 % einen Tarif von 50 Prozent oder weniger. Der Mittelwert dieser Angaben beträgt 39, der Median 35 Prozent. Den Führerschein der Klasse 3 bzw. B haben 83,1 % der Vpn im Alter von 18 Jahren und 8,5 % im Alter von 19 Jahren erworben; je eine Vp gab „20“, „22“ und „24“ an, zwei Vpn ließen diese Frage aus. Von allen Vpn bezeichneten sich 27,1 % (16 Personen) als altersweitsichtig, die Hälfte davon, 8 Personen, im Alter bis zu 50 Jahren. Die jüngste Person mit dieser Angabe war 33 Jahre alt. Von den 11 Personen im Alter über 50 Jahren gaben 27,3 % (3 Personen) keine Altersweitsichtigkeit an. Als Rechtshänder sahen sich 88,1 % der Vpn.

Zu Navigationssystemen wurden die zwei folgenden Fragen gestellt: *Haben Sie Erfahrung im Umgang mit Navigationssystemen im Kraftfahrzeug?* und *falls ja, geben Sie Navigationsziele im Stand oder auch während der Fahrt ein?* Beide Fragen haben 52,2 %, 32 Vpn, beantwortet. Die bivariate Häufigkeitsverteilung der Antworten zeigt Tabelle 14.

Tabelle 14. Erfahrungen der Vpn mit Navigationssystemen (absolute Häufigkeiten)

		Geben Sie Navigationsziele im Stand oder auch während der Fahrt ein?					Total
		Immer im Stand	Meistens im Stand	Beides gleich	Meistens während der Fahrt	Immer während der Fahrt	
Erfahrung im Umgang mit Navigationssystemen im Kraftfahrzeug	Ja, viel	0	5	3	4	0	12
	Ja, etwas	2	6	3	2	1	14
	Eher wenig	3	2	1	0	0	6
	Nein, gar nicht	0	0	0	0	0	0
Total		5	13	7	6	1	32

An diesen Daten ist eine mit der Erfahrung wachsende Tendenz abzulesen, auch während der Fahrt Navigationsziele einzugeben.

7.2 Versuchsplan

Der Versuchsplan wurde auch im Straßenversuch nach den Prinzipien aufgebaut, wie sie in den *Allgemeinen Überlegungen zum Versuchsplan* (Kapitel 4) dargestellt wurden. Die Fahrt sollte derjenigen im Simulator so ähnlich wie möglich sein. Der Fahrweg enthielt die gleichen drei Straßentypen wie im Simulatorversuch, also *A2, Autobahn, L1, Landstraße* und *C4, innerstädtische Straße* (nach Fastenmeier, 1995, S. 49-50). Da die Simulatorfahrt bestimmte, für die Stadtfahrt typische Komponenten wie Kreuzen und Abbiegen sowie häufigere und längere Ampelstopps nicht enthielt, wurde der Anteil der innerörtlichen Fahrten eher klein gewählt. Für diese Wahl sprachen zwei weitere Überlegungen. Zum einen hielten wir das Eingeben in das Navigationssystem auf innerörtlichen Strecken trotz mitfahrender Fahrlehrerin für so riskant, dass es auch im wissenschaftlichen Versuch nicht allzusehr ausgedehnt werden sollte. Zum zweiten erwarteten wir, dass die Vpn die Eingaben auf die ausgedehnten Wartephase vor den Lichtsignalen verlegen würden, was zur Hypothesenprüfung hier nicht beiträgt. Der Schwerpunkt lag also auf der Landstraßen- und der Autobahnfahrt.

Der Fahrweg wurde wieder in paarweise parallelisierte Abschnitte aufgeteilt. Fahrttyp A und B wurden wie im Simulatorversuch definiert. Jede Vp fuhr die gesamte Strecke zweimal, zeitlich balanciert einmal Fahrttyp A, einmal Fahrttyp B. Damit wurde wiederum jedes Straßenstück einmal ohne, einmal mit Bedieninstruktion gefahren.

In diesen Versuch wurde eine weitere unabhängige Variable aufgenommen: Die Nichtbenutzung oder die Benutzung eines Abstandstempomaten (ACC). Diese sollte mit der unabhängigen Variablen Bedienung gekreuzt werden. Das führte auf den Versuchsplan nach Tabelle 15.

Tabelle 15. Grundsätzlicher Versuchsplan für die beiden unabhängigen Variablen Bedienung und ACC

	Ohne Bedienung	Mit Bedienung
Ohne ACC	Abhängige Variablen	Abhängige Variablen
Mit ACC	Abhängige Variablen	Abhängige Variablen

Autofahrer benötigen eine beträchtliche Übung, bis sie ein ACC-System gut beherrschen und zur Erleichterung bei der Fahraufgabe wirksam einsetzen können. Deshalb entschieden wir, unter der Bedingung *mit ACC* nur Vpn mit entsprechender Erfahrung einzubeziehen. Eine Einschränkung des gesamten Versuches auf diesen Personenkreis wurde aber nicht als sinnvoll angesehen. Daraus folgte eine Aufteilung des Experimentes in Personen *ohne* und *mit ACC*-Fahrt. Insgesamt erhielten wir von 59 Personen je eine auswertbare A- und B-Fahrt. Bei 17 von ihnen wurde eine Fahrt *mit ACC* hinzugefügt, die als C-Fahrt bezeichnet wurde. Die Reihenfolge der Fahrten wurde jetzt gemäß Tabelle 16 balanciert. Vpn mit C-Fahrt unternahmen also 3 Fahrten; die Reihenfolge der Fahrten A und B war balanciert. Die C-Fahrt wurde, wenn sie stattfand, immer zwischen die erste und zweite Fahrt eingeschoben. Bei der Auswertung der ACC-Bedingung, die sich nur auf die Vpn mit C-Fahrt erstreckte, wurden stets die abhängigen Variablen in der C-Fahrt mit den Mittelwerten aus A- und B-Fahrt verglichen, so dass auch hier die Reihenfolgeeffekte ausbalanciert sind. Wegen des Ausfalls von zwei Personen und einer ungeraden Anzahl von Vpn mit C-Fahrt ist das Zahlenverhältnis, wie Tabelle 16 zeigt, nicht perfekt balanciert.

Wie Tabelle 15 zeigt, sind jetzt die beiden unabhängigen Variablen *Bedienung* und *ACC* faktoriell gekreuzt. *Bedienung* wurde, wie wiederholt dargestellt, zwischen den Abschnitten inner-

halb der Fahrten variiert. Anders ACC: diese unabhängige Variable war innerhalb der Fahrten stets konstant und wurde zwischen den Fahrten variiert, eine Fahrt fand also immer als ganze entweder *ohne* (Fahrten A und B) oder *mit ACC* (Fahrten C) statt.

Tabelle 16. Die Reihenfolge der Fahrten im Straßenversuch

Zahl der Personen	1. Fahrt	2. Fahrt	3. Fahrt
22	A	B	-
20	B	A	-
9	A	C	B
8	B	C	A
Summe = 59			

Mit mehr Details aufgelöst stellt sich der Versuchsplan jetzt dar, wie ihn Tabelle 17 und Tabelle 18 zeigen. Rot schattiert sind die Daten, die bei $n = 59$ Vpn gewonnen und nur für die unabhängige Variable *Bedienung* ausgewertet wurden. Blau schattiert sind die Daten, die bei $n = 17$ Personen mit ACC-Fahrt mit den nach Tabelle 15 gekreuzten unabhängigen Variablen *Bedienung* und *ACC* ausgewertet wurden. (In einer späteren Phase der Auswertung zeigten sich leider bei 2 dieser Personen noch so große Qualitätsprobleme in den ACC-Daten, dass sie aus der Auswertung ausgeschlossen werden mussten.) In dieser Auswertung wurden also von der Fahrt *ohne ACC* nur die Autobahnabschnitte berücksichtigt, um die Faktorstufen *ohne* und *mit ACC* für die gleichen Straßenbedingungen zu vergleichen. Ansonsten wurden die verschiedenen Straßentypen A2, L1 und C4, wie sie Tabelle 17 und Tabelle 18 enthalten sind, nicht getrennt ausgewertet. Das kann bei Bedarf in künftigen Analysen nachgeholt werden.

Tabelle 17. Die Auswertung der Fahrten ohne ACC ($n = 59$ auswertbare Vpn), roter Bereich in der Tabelle. Anmerkung: grau hinterlegte Zellen wurden nicht gefahren

VP	Ohne ACC Dateien A, B, AB						Mit ACC Dateien C, D	
	Ortsdurchfahrt C4		Landstraße L1		Autobahn A2		Autobahn A2	
	Ohne Bedienung	Mit Bedienung	Ohne Bedienung	Mit Bedienung	Ohne Bedienung	Mit Bedienung	Ohne Bedienung	Mit Bedienung
1								
2								
...								
n1 = 42								
n1 + 1								
...								
n = 59								

Tabelle 18. Die Auswertung der Variablen ohne und mit ACC ($n = 17$ Vpn, davon 15 auswertbar), blauer Bereich in der Tabelle. Anmerkung: grau hinterlegte Zellen wurden nicht gefahren

VP	Ohne ACC Dateien A, B, AB						Mit ACC Dateien C, D	
	Ortsdurchfahrt C4		Landstraße L1		Autobahn A2		Autobahn A2	
	Ohne Bedienung	Mit Bedienung	Ohne Bedienung	Mit Bedienung	Ohne Bedienung	Mit Bedienung	Ohne Bedienung	Mit Bedienung
1								
2								
...								
n1 = 42								
n1 + 1								
...								
n = 59								

Die folgende Tabelle 19 zeigt nur die für den Straßenversuch bei $n = 59$ Personen für die Fahrten *ohne ACC* ausgewerteten Teile der Daten ohne die Aufteilung nach Straßentypen. In gleicher Weise stellt Tabelle 20 nur die Teile der Daten dar, die bei $n = 15$ Personen für den Vergleich *ohne* und *mit ACC* ausgewertet wurden.

Tabelle 19. Auswertungsplan Fahrten ohne ACC, getrennt nach erster und zweiter Fahrt, getrennt nach Abschnitten ohne und mit Bedienung, Abschnitte mit Bedienung zusätzlich getrennt nach inaktiver und aktiver Phase

Variable →	1. Variable						2. Variable	usw.
Bedienung →	Ohne Bedienung		Mit Bedienung				Gleiches Schema wie unter Variable 1	Gleiches Schema wie unter Variable 1
Phase Bedienung →			Inaktive Phase		Aktive Phase			
Fahrt Nr. →	1. Fahrt	2. Fahrt	1. Fahrt	2. Fahrt	1. Fahrt	2. Fahrt		
Vp Nr. ↓								
1								
2								
3								
usw.								

Tabelle 20. Auswertepan Fahrten ohne und mit ACC

Variable →	1. Variable						2. Variable	usw.		
ACC →	Ohne ACC, Dateien AB, nur Autobahnabschnitte			Mit ACC, Dateien C/D, (es wurden nur Autobahnabschnitte gefahren)			Gleiches Schema wie unter Variable 1	Gleiches Schema wie unter Variable 1		
Nutzung Navi →	Ohne Bedienung		Mit Bedienung		Ohne Bedienung				Mit Bedienung	
Vp Nr. ↓			Inaktive Phase	Aktive Phase					Inaktive Phase	Aktive Phase
n1 + 1										
n1 + 2										
n1 + 3										
usw.										

7.3 Gerätetechnik

Als Versuchsfahrzeug diente ein BMW 540 iA Touring, Baureihe E 39, Baujahr 2000, im Eigentum der Firma Robert Bosch GmbH, Stuttgart. Dieses Fahrzeug existiert mit seiner versuchs-technischen Grundausstattung in zwei Exemplaren. Es ist auch unter dem Namen SANTOS bekannt und in mehreren Publikationen beschrieben (z. B. Ebersbach & Mayser, 2004). Das Fahrzeug zeigt Abbildung 63.



Abbildung 63. Das Versuchsfahrzeug. Links und rechts vom Innenspiegel sind die beiden auf den Fahrweg gerichteten Videokameras zu erkennen. Die Außenspiegel tragen Zusatzspiegel für die Fahrlehrerin



Abbildung 64. Die Rechner- und Videoausstattung des Versuchsfahrzeugs. Links unten im Einbaurahmen der Fahrdatenrechner, rechts der zweite Versuchsrechner. Oben S-VHS-Videorecorder und Videokanalnmischer. Weiter sind Bildschirm- und Tastaturumschalter sowie das LAN-Hub zu sehen

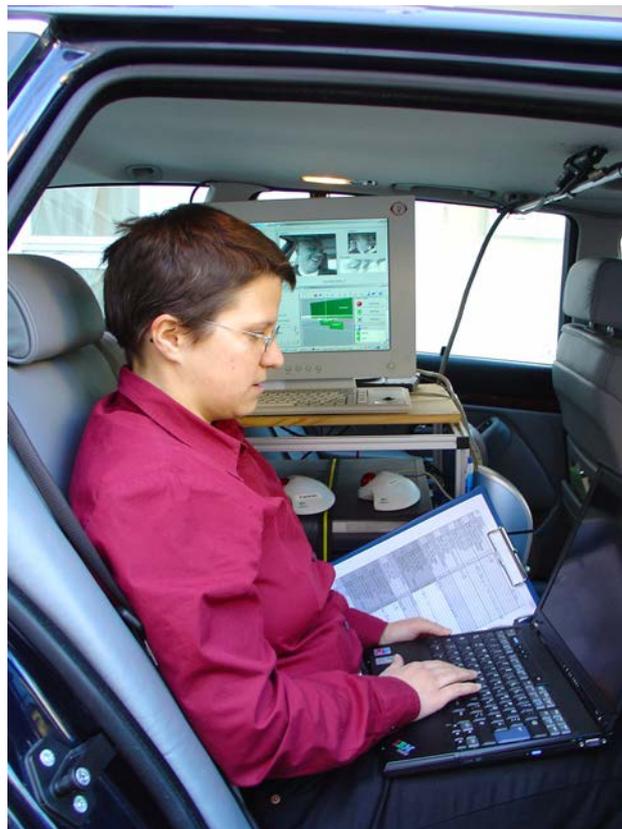


Abbildung 65. Der VL-Platz auf dem rechten Rücksitz. Im Hintergrund der Bildschirm für alle Fahrzeugrechner. Er zeigt ein FaceLab-Einstellungsbild. Darunter der FaceLab-Rechner. Die Versuchsleiterin hat ein Notebook und ein Klemmbrett mit Protokollbogen



Abbildung 66. Eine Vp bei der Einweisung in die Bedienung des Carin-Navigationssystems. Im Gesicht trägt sie die FaceLab-Marker. Links und rechts oberhalb der Tachometerkonsole sind die beiden FaceLab-Video-kameras zu sehen. Oben rechts sind links und rechts vom Innenspiegel die Gehäuse der beiden auf den Fahrweg gerichteten Videokameras zu erkennen. Oberhalb des Carin-Systems befindet sich ein Bildschirm für Versuchszwecke, der nicht benutzt wurde und daher mit schwarzer Pappe abgedeckt war

Das Versuchsfahrzeug war mit zwei Industrie-PCs mit Pentium IV Prozessor und WINDOWS XP Betriebssystem für die Berechnung und Aufzeichnung der Fahrdaten und weitere Versuchsfunktionen ausgerüstet, die im Fahrzeugheck fest montiert waren. Der Fahrdatenrechner diente auch als Timeserver, der das NTP-Zeitsignal für alle anderen Bordrechner lieferte. Der FaceLab-Rechner war der gleiche wie im Simulatorversuch; er war auf dem linken Rücksitz unterhalb des Trägers für einen LCD-Bildschirm untergebracht. Die Versuchsleiterin auf dem rechten Rücksitz und die Fahrlehrerin auf dem Beifahrersitz hatten je ein Notebook für ihre Aufgaben. Das VI-Notebook zeichnete die GPS-Daten auf, lieferte ein Protokoll der VI-Eingaben an den Fahrdatenrechner und gab die *.wav-Dateien mit den Bedieninstruktionen für die Vp wieder. Die Tonsignale konnten nicht in das Audiosystem des Fahrzeugs eingespeist werden. Deshalb wurde für die Wiedergabe ein Paar aktiver Computerlautsprecher hinter dem Fahrersitz installiert. Das Fahrlehrer-Notebook zeichnete die Fahrlehrerurteile während der Fahrt auf. Wegen der Sicherheit der Fahrlehrerin war der Beifahrer-Airbag abgeschaltet. Alle Rechner waren über ein LAN vernetzt und mit NTP synchronisiert. Insgesamt drei Videokameras waren in Betrieb; eine der beiden Frontkameras neben dem Innenspiegel lieferte das Bild des Fahrweges. Eine zweite, in die Armaturentafel eingebaute Kamera gab den Oberkörper der Vp wieder und eine dritte Kamera am hinteren Fahrzeughimmel hielt die Fahrszenarie von hinten her fest. Die Bilder wurden von einem Vierkanal-Videomischer zu einem Bildsignal zusammengefügt und mit einem S-VHS Videorecorder Panasonic NV-HS 830 für die Dauer der gesamten Fahrt aufgezeichnet. Der vierte Bildkanal enthielt eine Uhr mit der NTP-Zeit. Der Toneingang des Recorders wurde mit einem Bordmikrofon an der Armaturentafel verbunden. Ein Bild aus einer Videoaufzeichnung zeigt Abbildung 67.

Bei der Auswertung dieser Versuche wird eine Variable für die Weglänge ab Fahrtbeginn benötigt, in der sich die Grenzen der Straßenabschnitte nach Versuchsplan genau lokalisieren las-

sen. Im Simulatorversuch entsteht diese aus dem Simulatorprogramm heraus mit cm-Auflösung. Sie sollte möglichst schon während des Versuchs im VI-Rechner vorliegen und dort die Ausgabe der Instruktion an den im Versuchsplan festgelegten Straßenstellen steuern. Dieses Desiderat war in den vorliegenden Versuchen jedoch nicht erfüllt. Die GPS-Aufzeichnung war erst in der späteren Auswertung verfügbar, ihre Genauigkeitsgrenzen waren bei der Versuchsdurchführung noch nicht bekannt. Deshalb gab die Versuchsleiterin die Abschnittsgrenzen von Hand in ihr Notebook ein. Die damit verbundenen Probleme werden unten, bei den Prinzipien der statistischen Auswertung, weiter diskutiert.



Abbildung 67. Bild aus einer Videoaufzeichnung: Eingabe während einer Ortsdurchfahrt

7.4 Datentechnik und Datenaufbereitung

Das GPS-Signal des Carin-Systems war für den Bordrechner und damit für Zwecke des Versuches nicht zugänglich. Deshalb wurde für den Versuch ein eigenes GPS-System installiert. Der zugehörige Rechner schrieb im Fahrtverlauf eine Semikolon-separierte ASCII-Datei, die etwa ein Koordinatenpaar pro Sekunde, versehen mit einem Zeitstempel, enthielt. Zu Beginn der Auswertung wurden die Dateien in SPSS eingelesen; die GPS-Variablen stehen in Tabelle 39 im Tabellenanhang unter den Namen $v1gps$ bis $v7gps$ (Variablen Nr. 3 bis 8). Die Dateien wurden dann aufbereitet und bereinigt; beispielsweise mussten nicht zum Versuch gehörige Einzelkoordinaten, die nicht im gefahrenen Gebiet lagen, am Anfang und am Ende der Dateien eliminiert werden. Die Koordinaten, die als Dezimalbrüche der Längen- und Breitengrade vorlagen, wurden dann mit dem Formelsatz aus Dutch (2005) in UTM-Koordinaten umgerechnet und auf einem am Versuchsanfang beginnenden, in ganzzahligen 20-ms-Schritten ansteigenden Zeitstrahl lokalisiert. Zwischen den vorhandenen Messpunkten wurde linear interpoliert, um für die nachfolgenden Auswertungen jedem Messpunkt eine UTM-Koordinate für Nord und Ost zuzuweisen. Für benachbarte Messpunkte wurde dann die Euklidische Distanz berechnet und über die Zeitpunkte aufsummiert. Die so berechnete Weglänge war aber für die späteren Auswertungen unbrauchbar, weil die einzelnen GPS-Messwerte eine Fehlerstreuung aufwiesen, die bei der Euklidischen Abstandsberechnung stets einen zufälligen, positiven Fehlerterm addierte. Eine aus diesen Werten für die Streckenlängen berechnete Geschwindigkeit erwies sich im Vergleich mit der Geschwindigkeitsaufzeichnung aus den Fahrzeugdaten als vollkommen unbrauchbar.

Der Fahrzeugdatenrechner erzeugte eine Binärdatei mit 50 Messpunkten pro Sekunde. Mit einem Konversionsprogramm ließen sich ausgewählte Variablen in Tabstop-separierte ASCII-Dateien schreiben. Auch diese enthielten einen Zeitstempel. Sie wurden in SPSS eingelesen, dort

aufbereitet und mit den GPS-Dateien synchronisiert zusammengefügt. Die verwendeten Variablen sind unter den Namen *v1sts* bis *v24sts* und *v101sts* bis *v117sts* (Variablen Nr. 21 bis 44 und 94 bis 110) in Tabelle 39 im Tabellenanhang enthalten.

Mit den FaceLab-Dateien wurde ebenso verfahren wie im Simulatorversuch. Die Dateien wurden auf 50 Messpunkte pro Sekunde heruntergerechnet und mit den beiden anderen Dateien synchron zusammengefügt. Die Variablen sind unter den Namen *v1fcl* bis *v11fcl* (Variablen Nr. 46 bis 56) in Tabelle 39 im Tabellenanhang aufgelistet.

Auch mit den Fahrlehrerdateien wurde verfahren wie im Simulatorversuch. Da dieser Rechner jetzt wie alle anderen im Straßenversuch über das Bord-LAN synchronisiert war, konnte der Zeitstempel auch dieser Dateien für die Synchronisierung unmittelbar ausgenutzt werden. Die Fahrlehrervariablen sind in Tabelle 39 im Tabellenanhang unter *v4frl* bis *f19* (Variablen Nr. 58 bis 82) enthalten.

Für die Zusammenführung der Dateien, aus der schließlich eine einzige Zeitpunkte- x Variablen-Matrix für jede Fahrt jeder Person resultierte, wurden die Zeitstempel der einzelnen Dateien ohne irgendwelche Korrekturen verwendet. Sie wurden in Maßzahlklassen von 20 ms Breite mit einem ganzzahligen Vielfachen von 20 ms als Klassenmitte umgerechnet und auf der Basis dieser Klassen mit der *Merge Files Add Variables*-Funktion von SPSS zusammengefügt.

Eine Zeitvariable für die Bildnummern in den Videodateien musste jetzt nicht erzeugt werden, da eine Uhr mit der Bordzeit in die Videobilder eingeblendet war.

7.5 Fahrweg

Start- und Endpunkt aller Fahrten war das Firmengrundstück von MTO in Tübingen, Schweickhardtstraße 5. Es liegt nur wenige hundert Meter vom Beginn der autobahnartigen (A2) Strecken des Fahrweges entfernt. Die Straßentypen entsprachen denen im Simulatorversuch. Nach einem ungefähr 26 km langen autobahnartigen Straßenstück (A2) folgte nach einer kurzen, nicht bewerteten Landstraßenverbindung eine erste Ortsdurchfahrt (C4). Dann kamen etwa 11 km Landstraße (L1) und eine weitere Ortsdurchfahrt, die nach einem Wendepunkt in Gegenrichtung nochmals durchfahren wurde. Daran schlossen sich ca. 17 km Landstraße und dann wieder 12 km autobahnartige Strecke an. Den gesamten Fahrweg mit einer Länge von ca. 75 km zeigt Abbildung 68. Er wurde in 22 Abschnitte zerlegt, deren Grenzen eingezeichnet sind. Die ACC-Fahrt hatte eine Länge von 54 km und war in 10 Abschnitte eingeteilt.

Diese Abbildung ist zurzeit nicht
verfügbar. Sorry.
20.11.2013

Abbildung 68. Der Fahrweg beim Straßenversuch, Fahrten A und B ohne ACC

Die Abschnitte wurden fortlaufend durchnummeriert. Wie im Simulatorversuch wurde bei Fahrt A die Bedieninstruktion in den ungeradzahligen (im Bild Ziffer 1), bei Fahrt B in den geradzahligen (im Bild Ziffer 2) Abschnitten gegeben. Die Fahrt mit ACC war eine reine Autofahrt. Sie verlief auf der B27 vom Startpunkt bis zur Abschnittsgrenze Ausfahrt Walddorfhäslach in der oberen rechten Bildecke und führte dann vier Ausfahrten weiter bis Leinfelden-Echterdingen Süd, wo über die Straßenbrücke gewendet und zurückgefahren wurde. Die ACC-Fahrt bestand aus 10 Abschnitten. Die Fahrttypen A und B wurden ebenso definiert, wie bei der Fahrt ohne ACC. Da sich die Fahrt C immer an eine Fahrt A oder B anschloss, wurden die Abschnittsnummern vom Ende dieser Fahrt an weitergezählt. Folgte die Fahrt C einer Fahrt A, so wurden die ungeradzahligen Abschnitte mit Instruktion gefahren, folgte sie einer Fahrt B, so war es umgekehrt, jetzt wurden die geradzahligen Abschnitte mit Instruktion gefahren.

Die UTM-Koordinaten der Abschnittsgrenzen wurden der GPS-Aufzeichnung bei einer Probefahrt entnommen und mit Hilfe einer elektronischen Landkarte (Top 25, 2003) überprüft und korrigiert. In der gleichen Weise wurden die Geltungsbereiche der Geschwindigkeitsbegrenzungen für die Auswertungen verfügbar gemacht. Die Abschnittsgrenzen sind zusammen mit ihren UTM-Koordinaten und den zugehörigen Instruktionen für die Fahrten A und B, *ohne ACC*, in Tabelle 21 wiedergegeben. Die entsprechenden Daten für die Fahrt C, *mit ACC*, enthält Tabelle 22.

Tabelle 21. Die Abschnitte der Straßenfahrt ohne ACC: UTM-Koordinaten und Eingabeinstruktionen

Abschnitts-Nr. bis zur Grenze	Abschnittsgrenze	UTM E Abschnittsgrenze	UTM N Abschnittsgrenze	Instruktion
	Fahrtbeginn			
0	B28 Ortsschild Tü	505952	5373161	
1	B28 Ausfahrt Jettenburg	509216	5371825	Bitte geben Sie das Ziel „Aachen“ ein.
2	B28 Ausfahrt Betzingen	511708	5371705	Bitte rufen Sie aus dem Zielspeicher das Ziel „Wilhelma“ auf.
0	B28 Einfahrt Betzingen	511931	5371625	
3	B28 Einfahrt Jettenburg	509399	5371668	Bitte rufen Sie aus dem Zielspeicher das Ziel „MTO“ auf.
4	B28 Ortsschild Tü	505980	5373165	Bitte geben Sie das Ziel „Dortmund“ ein.
0	B27 Auffahrt B27	505881	5373395	
5	B27 Einfahrt K'furt/ Ende 120 km/h	510460	5376130	Bitte geben Sie das Ziel „Leipzig“ ein.
6	B27Ausfahrt Walddorf	512893	5380585	Bitte geben Sie das Ziel „Essen“ ein.
0	Ortseingang Walddorfhäslach	513320	5381208	
7	Einmündung Hauptstraße	513389	5381560	Bitte wechseln Sie zum Radiosender „SWR2“.
8	Ortsende Walddorfhäslach	512671	5381960	Bitte wechseln Sie zum Radiosender „SWR4“.
0	B464 Einmündung	512376	5381993	
9	B464 Schild Notruf	510894	5382221	Bitte stellen Sie etwas „weniger Höhen“

Abschnitts-Nr. bis zur Grenze	Abschnittsgrenze	UTM E Abschnittsgrenze	UTM N Abschnittsgrenze	Instruktion
				ein.
10	B464 Kreuzung K6912	507896	5382113	Bitte wechseln Sie zum Radiosender „SWR3“.
11	K6912 Soph.pfl./ 70 km/h	507285	5378367	Bitte wechseln Sie zum Radiosender „SWR1“.
12	Pfrond. Str. Ortsschild Pfrondorf	507171	5376877	Bitte geben Sie das Ziel „Ulm“ ein.
13	Pfrondorf Einfahrt Parkplatz	508745	5376905	Bitte geben Sie das Ziel „Stade“ ein.
0	Pfrondorf Ausfahrt Parkplatz			
14	Ortsende Pfrondorf	507221	5376882	Bitte geben Sie das Ziel „Olpe“ ein.
0	L1208 Ortsendeschild Tübingen	505700	5375769	
15	L1208 Parkplatz gegenüber	505085	5380000	Bitte geben Sie das Ziel „Tuttlingen“ ein.
16	L1208 Einmündung Parkpl. 3-spur.	504861	5380933	Bitte rufen Sie aus dem Zielspeicher das Ziel „Post“ auf.
17	L1208 Abzweig B464	505451	5382206	Bitte rufen Sie aus dem Zielspeicher das Ziel „Restaurant“ auf.
18	B464 Kreuzung K6912	507879	5382108	Bitte wechseln Sie zum Radiosender „Radioton“.
19	B464 Schild Notruf	510846	5382230	Bitte wechseln Sie zum Radiosender „Hit-Radio Antenne 1“.
20	B464 50 km/h	512729	5380731	Bitte stellen Sie etwas „mehr Höhen“ ein.
0	B27 Auffahrt	512854	5380610	
21	B27Ausfahrt K'furt	510141	5375873	Bitte geben Sie das Ziel „Pfullingen“ ein.
22	B27 80 km/h FIS-ENDE!	505847	5373413	Bitte geben Sie das Ziel „Rostock“ ein.

Anmerkung: Die Schattierung gibt den Straßentyp an: A2 Türkis, L1 grau, C4 gelb. Abschnittsnummer „0“ = nicht gezählt

Tabelle 22. Die Abschnitte der Straßenfahrt mit ACC. UTM-Koordinaten und Eingabeinstruktionen

Abschnitts-Nr. bis zur Grenze	Abschnitt	UTM E Abschnittsgrenze	UTM N Abschnittsgrenze	Instruktion
	Beginn			
0	B27Auffahrt	505414	5373297	
23	B27 Einfahrt K'furt/ Ende 120 km/h	510436	5376105	Bitte geben Sie das Ziel „Köln“ ein.
24	B27 Ausfahrt Walddorf	512891	5380582	Bitte geben Sie das Ziel „Köln“ ein.
25	B27variables Schild	515524	5384361	Bitte geben Sie das Ziel „München“ ein.
26	B27Ausfahrt F.-Bonlanden	516874	5389690	Bitte geben Sie das Ziel „München“ ein.
27	B27 Ausfahrt L.-E. Süd	513841	5391106	Bitte rufen Sie aus dem Zielspeicher das Ziel „Gehrke“ auf.
0	B27 ab Auffahrt	513712	5391286	
28	B27 Einfahrt F.-Bonlanden	516634	5389911	Bitte rufen Sie aus dem Zielspeicher das Ziel „Gehrke“ auf.
29	B27 Ende 120 km/h	515923	5384582	Bitte geben Sie das Ziel „Berlin“ ein.
30	B27 Einfahrt Walddorf	512859	5380597	Bitte geben Sie das Ziel „Berlin“ ein.
31	B27 Ausfahrt K'furt	510144	5375871	Bitte geben Sie das Ziel „Darmstadt“ ein.
32	B27 80 km/h FAS-ENDE!	505860	5373417	Bitte geben Sie das Ziel „Darmstadt“ ein.

Anmerkung: Die Schattierung gibt den Straßentyp an: A2 Türkis, L1 grau, C4 gelb

7.6 Versuchsmaterial

Die Eingabeinstruktionen wurden im Tonstudio bei MTO von einer weiblichen Stimme gesprochen und als *.wav-Dateien aufgezeichnet und im VI-Notebook für die Darbietung im Versuch gespeichert.

Das gesamte schriftliche Material, das der Vp zum Ausfüllen vorgelegt wurde, war das Gleiche wie im Simulatorversuch. Für die Abfrage des Situationsbewusstseins diente jetzt das oben beschriebene Testheft mit den Fotos einzelner Verkehrssituationen. Das gesamte Material ist im Materialband wiedergegeben.

Für die Blickbewegungsregistrierung waren wieder Aufkleber nötig, die in Abbildung 66 zu sehen sind. Die Tastatur des Fahrlehrernotebooks war modifiziert, wie beim Simulatorversuch beschrieben.

7.7 Versuchsablauf

Die Hauptversuche fanden in der Zeit vom 25. Oktober bis zum 09. Dezember 2004 auf den oben näher gekennzeichneten Strecken im öffentlichen Straßennetz in der Umgebung von Tübingen statt. Den zeitlichen Ablauf für die einzelne Vp zeigt Tabelle 23.

Tabelle 23. Der Ablauf des Straßenversuchs für die einzelne Vp

Ablaufpunkt	Ort	Dauer (min)
Begrüßung, Einführung	Vp-Zimmer	5
Fragebogen, 1. Teil	Vp-Zimmer	10
Einführung, Übung Navigationssystem	Fahrzeug	15
Justierung FaceLab	Fahrzeug	15
Übungsfahrt ohne Navigationssystem	Fahrzeug	10
Erste Fahrt, A oder B über Personen balanciert	Fahrzeug	60
Pause, schriftliche Abfrage Situationsbewusstsein, RSME	Vp-Zimmer	5 ... 10
(Fahrt C nur bei Vpn mit ACC-Erfahrung, danach RSME)	Fahrzeug	(30)
Zweite (bei Vpn mit ACC-Erfahrung dritte) Fahrt, B oder A	Fahrzeug	60
Fragebogen, 2. Teil, RSME, Exploration, Abschlussgespräch	Vp-Zimmer	15 ... 20
Summe Dauer		195 ... 235

Die Versuchsleiterin begleitete die Vp durch den gesamten Versuchsablauf. Sie präsentierte die Fragebögen, unterwies die Vp in der Bedienung des Navigationssystems im Fahrzeug und justierte das FaceLab-System. Während der Fahrt saß sie auf dem rechten Rücksitz. In ihr Notebook gab sie die Abschnittsgrenzen des Straßenverlaufs ein, was das Abspielen der Instruktionen an den vom Versuchsplan vorgesehen Stellen auslöste. Durch Eingabe entsprechender Marker protokollierte sie Anfang und Ende der beobachtbaren Bedienhandlung wie im Simulatorversuch. Darüber hinaus vermerkte sie in einem handschriftlichen Protokoll besondere Vorkommnisse, beispielsweise Baustellen und ad hoc geänderte Geschwindigkeitsbegrenzungen im Straßenverlauf sowie die dynamischen Verkehrssituationen für den späteren Test auf Situationsbewusstsein. Während der gesamten Fahrt beantwortete sie Fragen der Vp und gab, wo nötig, Nachinstruktionen bei der Bedienung des Navigationssystems. Die Fahrlehrerin begleitete die Fahrt auf dem vorderen Beifahrersitz. Sie gab die Fahrweginstruktionen und tippte fortwährend ihre Beurteilungen in ihr Notebook ein. Sie fing Gefahrensituationen durch Instruktionen und notfalls durch einen Fahrlehrereingriff ab. Letzterer war während des gesamten Versuches nur ein einziges Mal nötig.

In der Fahrt mit ACC konnten die Vpn ihre Wunschgeschwindigkeit frei einstellen, wurden also auch vom VI nicht daran gehindert, eine Einstellung zu wählen oder beizubehalten, die über einer bestehenden Geschwindigkeitsbegrenzung lag. Der Sollabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug wurde ohne Ausnahmen auf 1,7 s eingestellt.

8 Ergebnisse des Straßenversuchs

8.1 Terminologische Festlegung: Bedienung und Phase

Die Begriffe Bedienung und Phase wurden zur Kennzeichnung der unabhängigen Variablen in der gleichen Weise verwendet wie im Simulatorversuch. Sie werden mit Abbildung 12 und Abbildung 13 (Abschnitt 6.1) erläutert.

8.2 Die Struktur der statistischen Auswertung

Die Daten wurden nach den gleichen Prinzipien wie im Simulatorversuch mit SPSS, Versionen 12 und 13 englisch, ausgewertet. Zunächst wurden die GPS-Dateien, die Fahrdatenrechnerdateien, die FaceLab-Dateien und die Fahrlehrerdateien aus geeignet separierten ASCII-Dateien in SPSS eingelesen. Bei den Dateien aus dem Fahrdatenrechner wurde wieder eine Dummyzeile wie bei den Simulatordaten eingefügt und nach dem Einlesen entfernt. Die Zeitstempel wurden in ein für alle Dateien gleiches Format recodiert. Daraus wurde dann eine experimentelle Echtzeit mit Maßzahlklassen der Breite 20 ms und jeweils einem ganzzahligen Vielfachen von 20 ms als Maßzahlklassenmitte gebildet. Bei der FaceLab-Datei wurde damit die Umrechnung in 50 Messpunkte pro Sekunde verbunden. Eine Driftkorrektur war für die Zeitvariablen nicht nötig, da sie alle einen gemeinsamen Bordrechner als Server für die NTP-Zeit benutzten. Diese experimentelle Echtzeit diente dann dem synchronen Zusammenführen der Dateien. In der GPS-Datei wurden die UTM-Koordinaten berechnet, in der Fahrlehrerdatei die Variablen für die einzelnen Fehlerkategorien (f1 bis f19) gebildet.

Anders als im Simulatorversuch streuten die Zeitpunkte, zu denen die Aufzeichnungen der vier Dateien, GPS, Fahrzeugdaten, FaceLab und Fahrlehrer, gestartet und gestoppt wurden, stärker. Die Stromversorgung im Versuchsfahrzeug musste an der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit betrieben werden. Deshalb kam es öfter zu Abstürzen einzelner Rechner während der Fahrt. Die Rechner konnten in diesen Fällen neu hochgefahren und die Aufzeichnungen neu gestartet werden. Die resultierenden Dateien waren dann aber in mehrere Teile zerlegt, die von Hand zusammengefügt und mittels Zeitstempel mit den anderen Dateien synchronisiert werden mussten. Zur Fehlererkennung und -vermeidung wurden von allen Dateien die Zeitstempel von Anfang und Ende in Handprotokollen festgehalten und auf Plausibilität überprüft. Zur Synchronisierung mittels der *Merge Files Add Variables*-Funktion von SPSS wurde schließlich ein Zeitstrahl verwendet, der bei dem frühesten Zeitstempel der vier Dateien einer Fahrt und Person begann und beim spätesten Zeitstempel endete. Er wurde später auf den Wert $t = 0$ für den Anfang des ersten Straßenabschnittes umgerechnet. Die resultierenden Dateien wiesen infolge der Abstürze bei einzelnen Datenquellen Lücken auf. Hier waren die *Missing-data*-Funktionen von SPSS sehr hilfreich.

Bei der Auswertung muss für jeden Messpunkt die Information, zu welchem Straßenabschnitt er gehört, in einer Variablen vorliegen. Zu diesem Zweck wurden mit einem Programm in C++ die Distanzminima zwischen den UTM-Koordinaten der Abschnittsgrenzen nach Tabelle 21 und Tabelle 22 und den UTM-Werten der Fahrt gesucht und zur Berechnung der Abschnittszugehörigkeit jedes Streckenpunktes genutzt. Auch die jeweils geltende Geschwindigkeitsbegrenzung wurde aufgrund dieser Werte in einer Variablen codiert. Ein Teil der Geschwindigkeitsbegrenzungen hat sich während der Versuchswochen teils baustellenbedingt, teils durch behördliche Maßnahmen geändert. Bei einer Person galten sogar auf einem Straßenabschnitt bei beiden Fahrten verschiedene Geschwindigkeitsbegrenzungen. Das wurde in die Auswerteprogramme eingearbeitet. Für die Abschnittsgrenzen lag eine zweite Informationsquelle vor, die Eingabe der Versuchsleiterin. Durch Vergleich von VI- und GPS-Daten wurden die Variablen auf mögliche Fehler hin überprüft. Die VI-Eingaben zeigten dabei Streuungen von einigen Sekunden, so dass beide Abschnittsgrenzen nicht perfekt übereinstimmten. Bei größeren Abweichungen wurde von Hand korrigiert. Bei den

späteren Auswertungen wurden für die Geschwindigkeitsbegrenzungen die GPS-Koordinaten zugrundegelegt. Bei den Versuchsbedingungen wurden die VI-Eingaben gewählt, weil diese und nicht die GPS-Koordinaten die Darbietung der Instruktionen steuerten und damit die bei der einzelnen Vp tatsächlich wirksamen Abschnittsgrenzen definierten. Dieses Verfahren ist nicht ganz befriedigend. Bei der Wiederholung dieser Versuche sollte deshalb die GPS-Koordinate schon während der Fahrt im VI-Rechner vorliegen und dort die Ausgabe der Instruktionen steuern.

Diese Auswertungen führten schließlich zu einer Zeitpunkte- x Variablen-Matrix für jede Fahrt und Person. Die Variablenliste ist in Tabelle 39 im Tabellenanhang enthalten. Sie enthält auch die Variablen, die aus der nachfolgenden Fehlerstufenrechnung auf der Basis der Fahrdaten resultieren. Aus diesen Matrizen für einzelne Personen und Fahrten wurden dann die Fehlerdauern und –anzahlen nach Versuchsbedingungen getrennt ausgezählt und zu einer Personen- x Variablen- x Versuchsbedingungen-Matrix zusammengefasst. Diese ist die Grundlage für die Berechnung statistischer Kenngrößen und Signifikanztests über die Personen hinweg. Deren Resultate wurden mit EXCEL in ein handliches Tabellenformat und in graphische Darstellungen überführt.

8.3 Die Einzelergebnisse

8.3.1 Versuchsdauer

Abbildung 69 gibt die Fahrtdauer in Sekunden *ohne* und *mit Bedienung* für die beiden Fahrten *ohne ACC* wieder. Die Zeit für die Abschnitte *mit Bedienung* ist die Summe der Zeiten für die *aktive* und die *inaktive Phase*. Die Gesamtdauer jeder Fahrt ist gleich der Summe aus der Dauer *ohne Bedienung* und der Dauer *mit Bedienung*.

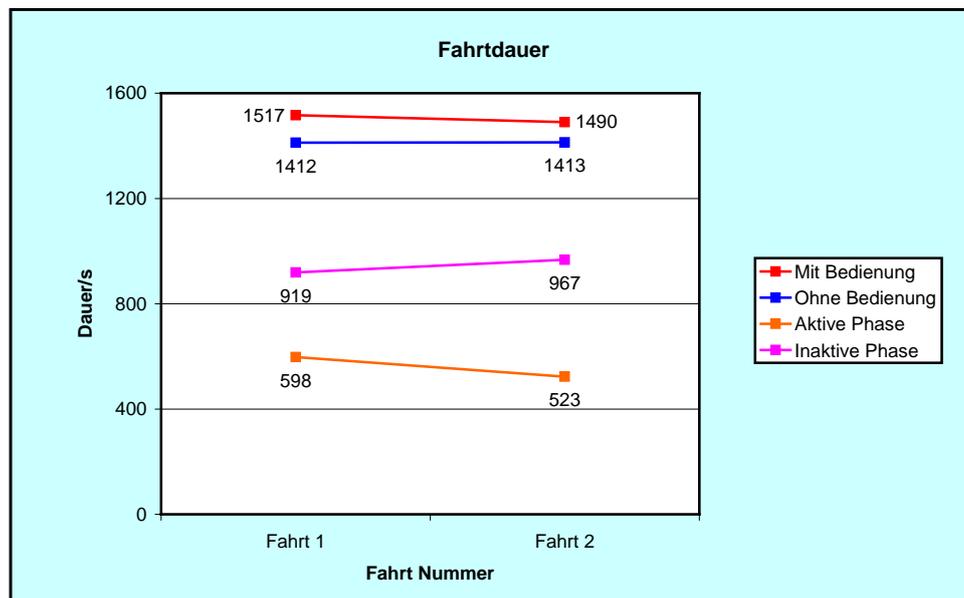


Abbildung 69. Die Dauer der Fahrtteile in Sekunden ohne und mit Bedienung, ohne ACC

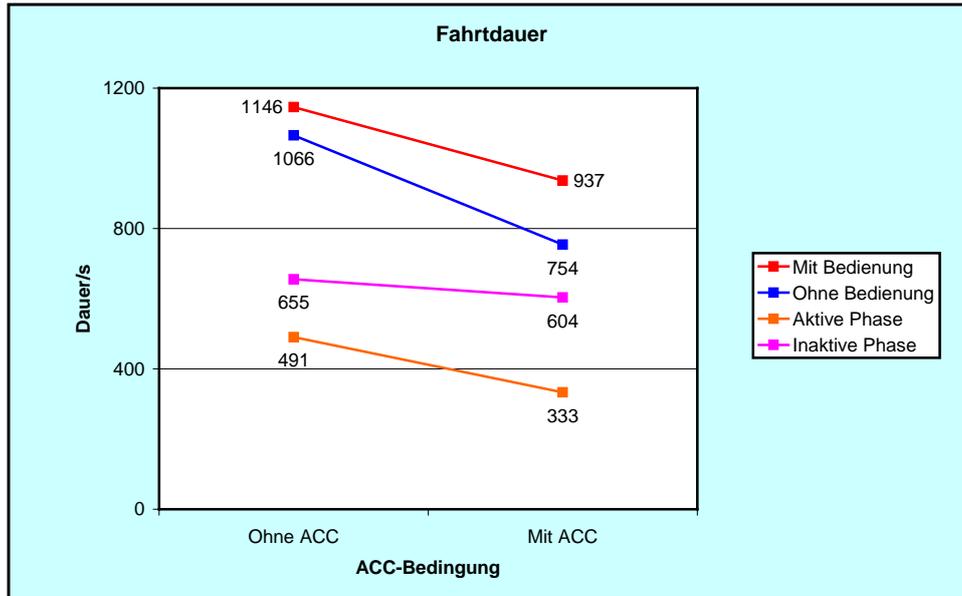


Abbildung 70. Die Dauer der Fahrtanteile in Sekunden ohne und mit Bedienung sowie ohne und mit ACC

Abbildung 70 gibt die Dauer der Fahrten *ohne* und *mit* ACC, getrennt nach den Bedienungsbedingungen, wieder. Die Daten *ohne* ACC entstammen den Autobahnabschnitten aus beiden Fahrten *ohne* ACC, die Daten *mit* ACC der einen Fahrt *mit* ACC. Die Gesamtdauer jeder Fahrt ist wiederum gleich der Summe aus der Dauer *mit* Bedienung und der Dauer *ohne* Bedienung. Da die Autobahnstrecken in den Fahrten *ohne* ACC und *mit* ACC nicht identisch sind, ist der Schluss von der unterschiedlichen Dauer der Fahrten unter beiden Bedingungen auf eine unterschiedliche Durchschnittsgeschwindigkeit nicht zulässig.

8.3.2 Überschreiten der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit

Nach IVI & TUD (2005, S. A/I-1, Auswertung S. 130)

Fahrfehler	Überschreiten der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit
Situation	Begrenzung durch Beschilderung oder allgemeine Regeln
Indikatoren/Messvariablen	Eigene Geschwindigkeit Vorgeschriebene Höchstgeschwindigkeit
Technische Anforderungen	Geschwindigkeitsmessung (Genauigkeit +/- 5 %) Positionsbestimmung (GPS, Genauigkeit +/- 10 m) Koordinaten der Bereiche mit Geschwindigkeitsbegrenzung (Genauigkeit +/- 10 m)
Existierende Kriterien (Referenz)	Fehler, wenn Überschreitung > 10 % (Brookhuis, 1995) Fehler, wenn Überschreitung > 20 % (Reichart, 2001) Fehler, wenn Überschreitung > 10km/h (Fastenmeier, 1995) Diverse Überschreitungsstufen (Bußgeldkatalog)
Verfahrenskriterium	$vueproz = (vkmh - vgrenzkmh) \cdot 100 / vgrenzkmh$ <p>Mit</p> <p><i>vueproz</i> Geschwindigkeitsüberschreitung [%] <i>vkmh</i> Gefahrene Geschwindigkeit [km/h] <i>vgrenzkmh</i> Maximal erlaubte Geschwindigkeit [km/h]</p>
Fehlerstufe	0 wenn $vueproz < 10 \%$ 1 wenn $(vueproz \geq 10 \%) \& (vueproz < 20 \%)$ 2 wenn $(vueproz \geq 20 \%) \& (vueproz < 30 \%)$ 3 wenn $vueproz \geq 30 \%$

Fahrten ohne ACC

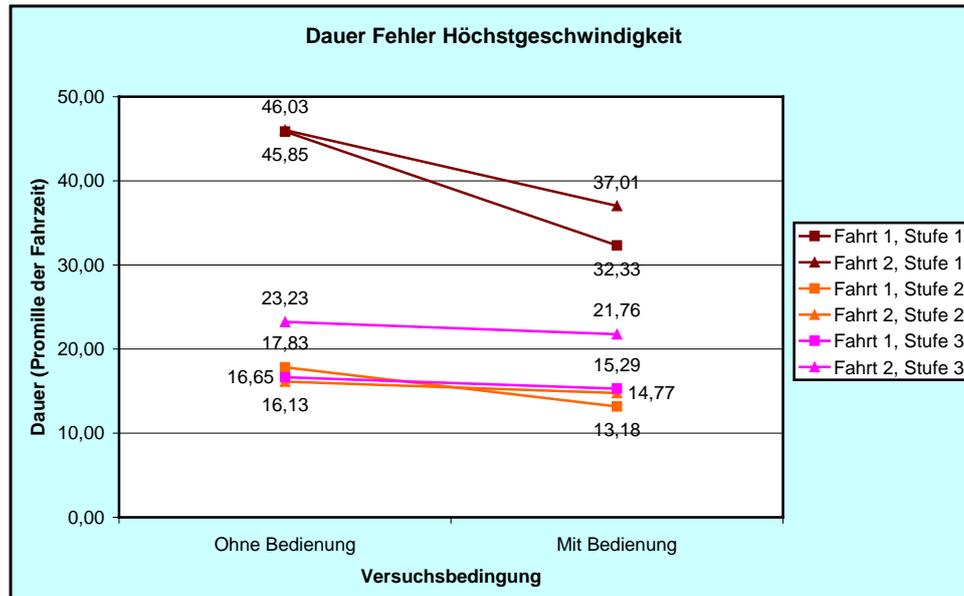


Abbildung 71. Gesamtdauer der Fehler Überschreiten der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt, ohne ACC

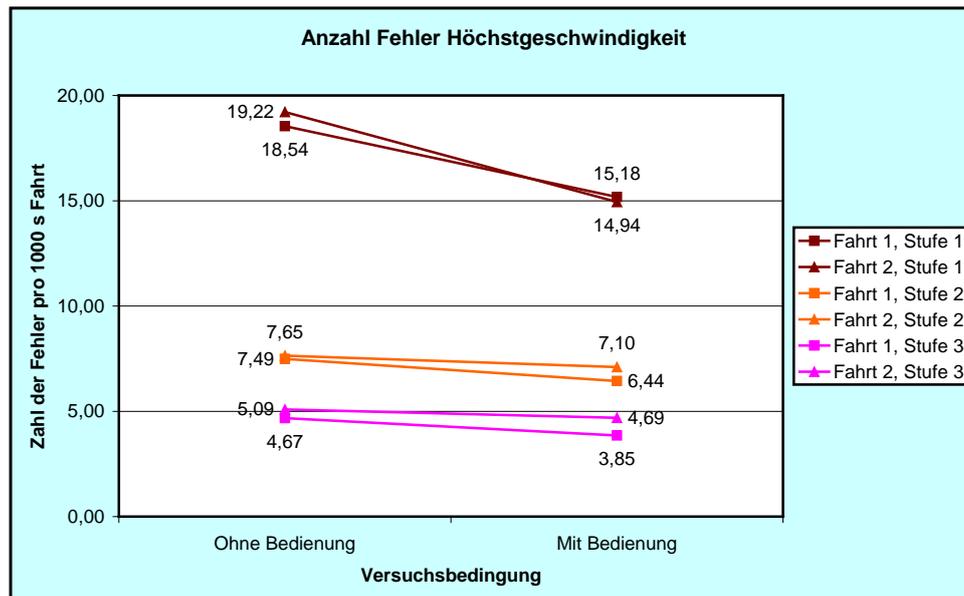


Abbildung 72. Anzahl der Fehler Überschreiten der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt, ohne ACC

Interpretation

Beim Überschreiten der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit sind die Effekte im Straßenversuch ungefähr gleich groß wie im Simulator: Sowohl die *Fehlerdauer der Fehlerstufen 1 und 2* (gemessen in Promille der Fahrzeit) als auch die *Fehleranzahl der Stufe 1* (bezogen jeweils auf 1000 s Fahrzeit) waren in Abschnitten *mit Bedienung* deutlich und hoch signifikant geringer als in Abschnitten *ohne Bedienung* ($p < 0,01$; Abbildung 71 und Abbildung 72). So reduzierte sich auf

Fehlerstufe 1 die durchschnittliche Fehlerdauer von 4,6 % auf 3,5 % der Fahrzeit und die Fehleranzahl pro 1000 Sekunden von 18,9 auf 15,1 (gemittelt jeweils über Fahrt 1 und Fahrt 2). Auch die a priori sehr viel selteneren Fehler der Stufen 2 und 3 zeigten eine gewisse Verminderung unter Bedieninstruktion, die Unterschiede erreichten aber nur bei *Fehlerdauer*, *Fehlerstufe 2* das 1 %-Signifikanzniveau, die übrigen waren nicht signifikant. Wie im Simulator versuchen die Vpn, die Zusatzbelastung durch das Bedienen des Navigationssystems während der Fahrt durch eine vorsichtigeren, also langsamere Fahrweise zu kompensieren.

Wie im Simulator sind im gesamten Straßenversuch die Unterschiede zwischen erster und zweiter Fahrt und die Wechselwirkung zwischen Versuchsbedingung und Fahrt nur selten signifikant. Auf den Haupteffekt *Fahrt* und die Wechselwirkung *Fahrt x Versuchsbedingung* soll daher, wenn überhaupt, nur in den seltenen Fällen explizit eingegangen werden, in denen sie zumindest das 5 %-Signifikanzniveau erreichten.

Signifikanztests

Geschwindigkeit (v) relative Fehlerdauer (Promille der Fahrzeit)						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	7494,27	1	7494,27	37,864	0,0000	0,3950
Error(Bedingung)	11479,84	58	197,93			
Fahrt	349,69	1	349,69	0,913	0,3433	0,0155
Error(Fahrt)	22219,94	58	383,10			
Bedingung * Fahrt	299,47	1	299,47	0,980	0,3264	0,0166
Error(Bedingung * Fahrt)	17726,67	58	305,63			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	532,44	1	532,44	15,260	0,0002	0,2083
Error(Bedingung)	2023,63	58	34,89			
Fahrt	0,15	1	0,15	0,002	0,9687	0,0000
Error(Fahrt)	5593,11	58	96,43			
Bedingung * Fahrt	159,73	1	159,73	1,407	0,2404	0,0237
Error(Bedingung * Fahrt)	6583,65	58	113,51			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	118,33	1	118,33	1,057	0,3083	0,0179
Error(Bedingung)	6495,56	58	111,99			
Fahrt	2513,68	1	2513,68	0,697	0,4071	0,0119
Error(Fahrt)	209080,72	58	3604,84			
Bedingung * Fahrt	0,18	1	0,18	0,001	0,9703	0,0000
Error(Bedingung * Fahrt)	7524,94	58	129,74			

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung

Geschwindigkeit (v) Fehleranzahl (Zahl der Fehler pro 1000 s Fahrt)						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	860,130	1	860,130	13,131	0,0006	0,1846
Error(Bedingung)	3799,313	58	65,505			
Fahrt	2,767	1	2,767	0,026	0,8727	0,0004
Error(Fahrt)	6196,574	58	106,837			
Bedingung * Fahrt	12,464	1	12,464	0,189	0,6656	0,0032
Error(Bedingung * Fahrt)	3831,310	58	66,057			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	37,427	1	37,427	1,574	0,2147	0,0264
Error(Bedingung)	1379,347	58	23,782			
Fahrt	9,846	1	9,846	0,414	0,5225	0,0071
Error(Fahrt)	1379,216	58	23,780			
Bedingung * Fahrt	3,847	1	3,847	0,125	0,7251	0,0021
Error(Bedingung * Fahrt)	1787,219	58	30,814			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	21,980	1	21,980	1,845	0,1796	0,0308
Error(Bedingung)	690,858	58	11,911			
Fahrt	23,345	1	23,345	1,694	0,1983	0,0284
Error(Fahrt)	799,511	58	13,785			
Bedingung * Fahrt	2,648	1	2,648	0,232	0,6318	0,0040
Error(Bedingung * Fahrt)	661,884	58	11,412			

Vergleich Fahrten ohne und mit ACC

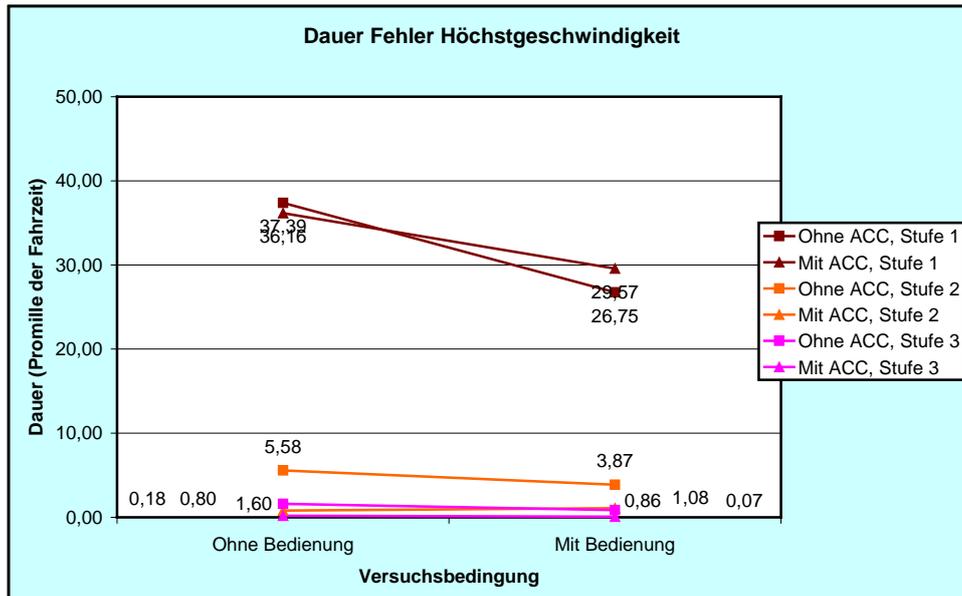


Abbildung 73. Gesamtdauer der Fehler Überschreiten der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne und mit ACC

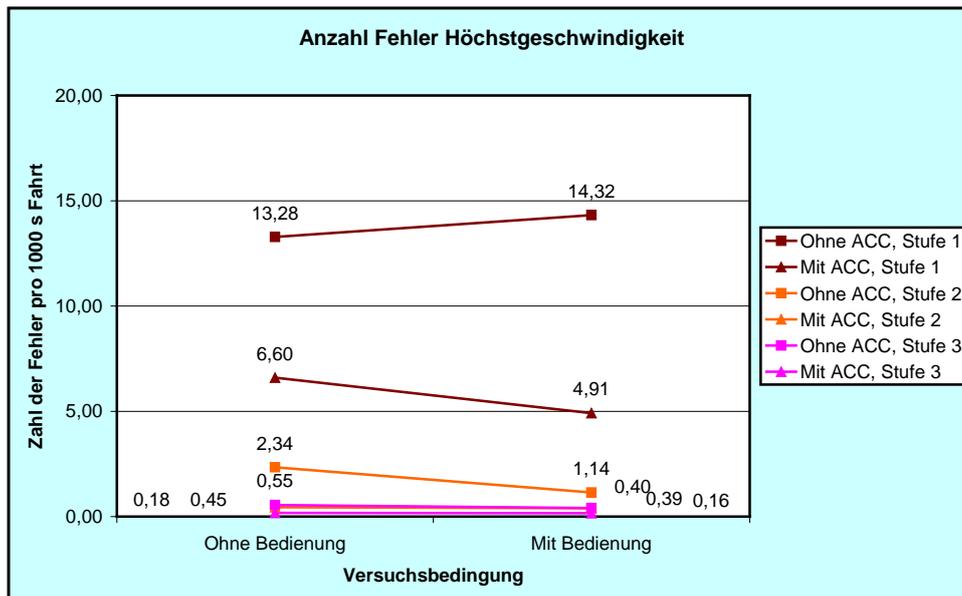


Abbildung 74. Anzahl der Fehler Überschreiten der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne und mit ACC

Interpretation

Beim Fahren mit ACC ist, unabhängig ob bedient oder nicht bedient werden muss, die Anzahl der Fehler *Überschreiten der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit* für Fehlerstufe 1 und 2 deutlich reduziert (Abbildung 74). Der Unterschied ist in beiden Fällen signifikant, aufgrund der relativ geringen Zahl von Vpn, die an diesem Teilerperiment teilnahmen, allerdings nur auf dem 5 %-Niveau. Die Effektgrößen liegen aber immerhin bei 38 % und 32 %. Wie erwartet führt das

Fahren mit Abstandstempomat zu einer selteneren Überschreitung der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit und damit zu einem Sicherheitsgewinn. Dabei waren die Vpn in der Wahl ihrer ACC-Wunschgeschwindigkeit frei, wurden also vom VI nicht daran gehindert, auch eine Wunschgeschwindigkeit höher als eine etwa bestehende Geschwindigkeitsbegrenzung einzugeben oder beizubehalten.

Die Resultate für *Bedienung* ähneln denen aus dem gesamten Straßenversuch *ohne ACC*, allerdings sind die Effekte deutlich geringer und erreichen nur für *Fehlerdauer*, *Fehlerstufe 1* das 5 %-Signifikanzniveau, wobei sich die Fehlerdauer unter Bedieninstruktion von 3,7 % auf 2,8 % der Fahrzeit reduziert (Abbildung 73).

Signifikanztests

Geschwindigkeit (v) Relative Fehlerdauer (Promille der Fahrzeit)						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	1113,06	1	1113,06	6,159	0,0264	0,3055
Error(Bedingung)	2530,16	14	180,73			
ACC	9,55	1	9,55	0,004	0,9501	0,0003
Error(ACC)	33001,93	14	2357,28			
Bedingung * ACC	61,60	1	61,60	0,222	0,6449	0,0156
Error(Bedingung * ACC)	3888,71	14	277,76			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	7,65	1	7,65	0,362	0,5568	0,0252
Error(Bedingung)	295,44	14	21,10			
ACC	214,60	1	214,60	6,582	0,0224	0,3198
Error(ACC)	456,45	14	32,60			
Bedingung * ACC	14,88	1	14,88	0,808	0,3840	0,0545
Error(Bedingung * ACC)	257,90	14	18,42			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	2,77	1	2,77	1,082	0,3159	0,0717
Error(Bedingung)	35,84	14	2,56			
ACC	18,32	1	18,32	3,503	0,0823	0,2002
Error(ACC)	73,19	14	5,23			
Bedingung * ACC	1,51	1	1,51	0,521	0,4824	0,0359
Error(Bedingung * ACC)	40,62	14	2,90			

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung

Geschwindigkeit (v) Fehleranzahl (Zahl der Fehler pro 1000 s Fahrt)						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	1,589	1	1,589	0,033	0,8584	0,0024
Error(Bedingung)	673,472	14	48,105			
ACC	971,182	1	971,182	8,691	0,0106	0,3830
Error(ACC)	1564,367	14	111,740			
Bedingung * ACC	27,770	1	27,770	0,604	0,4500	0,0414
Error(Bedingung * ACC)	643,807	14	45,986			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	5,877	1	5,877	3,088	0,1007	0,1807
Error(Bedingung)	26,643	14	1,903			
ACC	26,206	1	26,206	6,634	0,0220	0,3215
Error(ACC)	55,307	14	3,950			
Bedingung * ACC	4,955	1	4,955	2,976	0,1065	0,1753
Error(Bedingung * ACC)	23,314	14	1,665			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,104	1	0,104	0,596	0,4528	0,0409
Error(Bedingung)	2,430	14	0,174			
ACC	1,438	1	1,438	1,874	0,1926	0,1180
Error(ACC)	10,742	14	0,767			
Bedingung * ACC	0,059	1	0,059	0,301	0,5918	0,0211
Error(Bedingung * ACC)	2,733	14	0,195			

8.3.3 Längsabstand zu gering für eigene Geschwindigkeit

Nach IVI & TUD (2005, S. A/I-5, Auswertung S. 135)

Fahrfehler	Längsabstand zu gering für eigene Geschwindigkeit
Situation	Folgefahren (vorausfahrendes Fahrzeug mit etwa gleicher Geschwindigkeit)
Indikatoren/Messvariablen	Zeitlicher Abstand (time headway)
Technische Anforderungen	Geschwindigkeitsmessung (Genauigkeit +/- 2,5 %) Abstandsmessung (Genauigkeit +/- 2 m)
Existierende Kriterien (Referenz)	Fehler, wenn zeitlicher Abstand < 0,7 s (Brookhuis, 1995) Optimaler zeitlicher Abstand > 1,8 s; entspricht „½ Tacho“ (Inoffizielle Faustregel)
Verfahrenskriterium	$\text{Time headway: } th = d / v$ <p>Mit</p> <p>th Zeitlicher Abstand (time headway) zum vorausfahrenden Fahrzeug [s]</p> <p>d Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug [m]</p> <p>v Geschwindigkeit des eigenen Fahrzeugs [m/s]</p>
Fehlerstufe	0 wenn $th > 1,7$ s 1 wenn $(th \leq 1,7 \text{ s}) \ \& \ (th > 1,2 \text{ s})$ 2 wenn $(th \leq 1,2 \text{ s}) \ \& \ (th > 0,7 \text{ s})$ 3 wenn $th \leq 0,7$ s

Fahrten ohne ACC

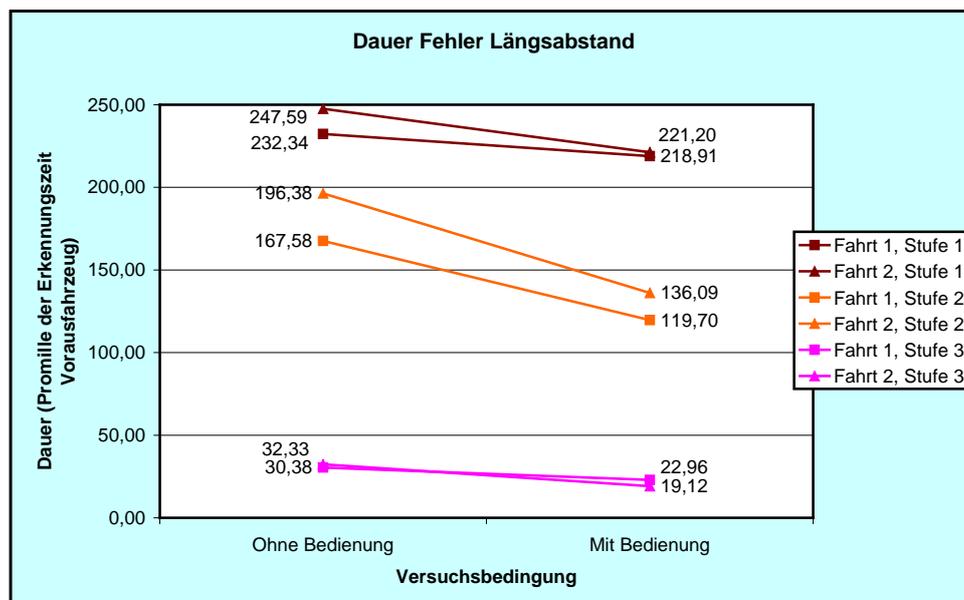


Abbildung 75. Gesamtdauer der Fehler Längsabstand zu gering für eigene Geschwindigkeit, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt, ohne ACC

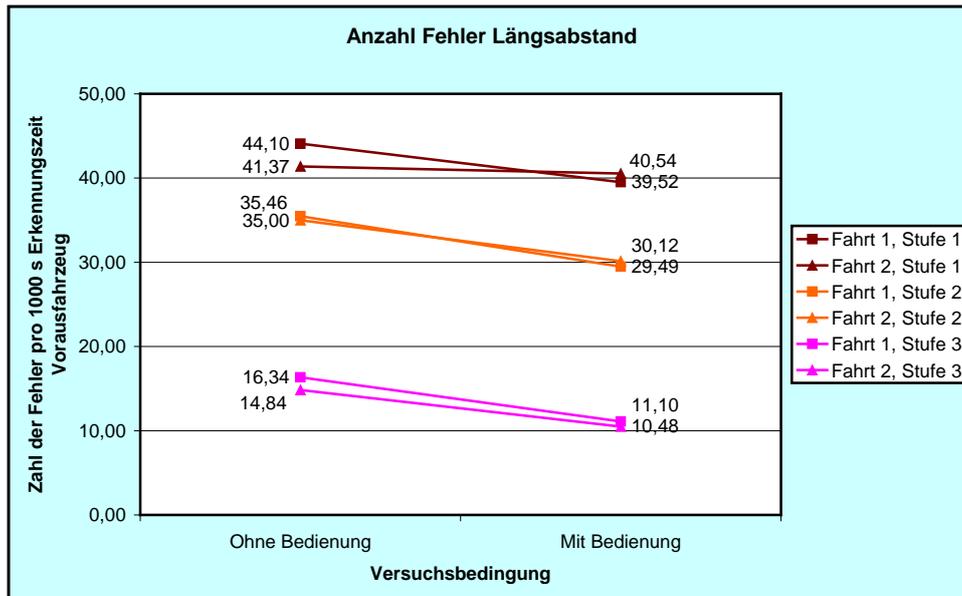


Abbildung 76. Anzahl der Fehler Längsabstand zu gering für eigene Geschwindigkeit, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt, ohne ACC

Interpretation

Die Variable *Längsabstand* bzw. *Time headway* (*th*) konnte nur dann gemessen werden, wenn das Abstandsradar ein vorausfahrendes Fahrzeug erkannte. Das Gerät lieferte allerdings nur für das Folgefahren auf den Autobahnabschnitten zuverlässige Werte in ausreichender Anzahl, so dass nur diese in die Fehlerauswertung einbezogen wurden.

Bei der Variablen *Längsabstand zu gering für die eigene Geschwindigkeit* sind die Effekte auf der Straße geringer als im Simulator. Das könnte damit zusammenhängen, dass das Abstandsradar weniger genaue Werte lieferte als die Simulatorsoftware. So zeigten nur zwei Maße eine auf dem 1 %-Niveau signifikante Reduktion unter Bedieninstruktion: Die *Fehlerdauer*, *Fehlerstufe 2* reduzierte sich von 18,2 % auf 12,8 % der Zeit, in der das Abstandsradar ein vorausfahrendes Fahrzeug erfasste (Abbildung 75) und die *Fehleranzahl*, *Fehlerstufe 3* reduzierte sich von 15,6 auf 10,8 pro 1000 s Erkennungszeit (Abbildung 76). Wie schon bei der Variablen *Übertreten der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit* wird offensichtlich während der Eingabe in das Navigationssystem eine vorsichtiger Fahrweise bevorzugt, was in diesem Fall das Einhalten eines größeren zeitlichen Sicherheitsabstands (*Time headway*) zum vorausfahrenden Fahrzeug einschließt.

Signifikanztests

Längsabstand (th) Relative Fehlerdauer (Promille der Erkennungszeit Vorausfahrzeug)						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	20205,50	1	20205,50	3,359	0,0728	0,0630
Error(Bedingung)	300747,55	50	6014,95			
Fahrt	3921,53	1	3921,53	0,547	0,4628	0,0108
Error(Fahrt)	358189,21	50	7163,78			
Bedingung * Fahrt	2141,13	1	2141,13	0,283	0,5972	0,0056
Error(Bedingung * Fahrt)	378590,65	50	7571,81			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	149204,42	1	149204,42	20,296	0,0000	0,2887
Error(Bedingung)	367569,88	50	7351,40			
Fahrt	26044,83	1	26044,83	3,873	0,0546	0,0719
Error(Fahrt)	336229,75	50	6724,59			
Bedingung * Fahrt	1962,53	1	1962,53	0,290	0,5924	0,0058
Error(Bedingung * Fahrt)	337948,20	50	6758,96			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	5420,65	1	5420,65	3,072	0,0858	0,0579
Error(Bedingung)	88219,91	50	1764,40			
Fahrt	45,48	1	45,48	0,022	0,8832	0,0004
Error(Fahrt)	104309,05	50	2086,18			
Bedingung * Fahrt	427,09	1	427,09	0,222	0,6397	0,0044
Error(Bedingung * Fahrt)	96249,37	50	1924,99			
Längsabstand (th) Fehleranzahl (Zahl der Fehler pro 1000 s Erkennungszeit Vorausfahrzeug)						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	372,475	1	372,475	0,769	0,3847	0,0151
Error(Bedingung)	24214,415	50	484,288			
Fahrt	36,876	1	36,876	0,126	0,7241	0,0025
Error(Fahrt)	14627,005	50	292,540			
Bedingung * Fahrt	179,156	1	179,156	0,584	0,4485	0,0115
Error(Bedingung * Fahrt)	15350,698	50	307,014			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	1501,874	1	1501,874	3,231	0,0783	0,0607
Error(Bedingung)	23239,000	50	464,780			
Fahrt	0,383	1	0,383	0,002	0,9681	0,0000
Error(Fahrt)	11855,849	50	237,117			
Bedingung * Fahrt	15,483	1	15,483	0,056	0,8138	0,0011
Error(Bedingung * Fahrt)	13808,564	50	276,171			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	1174,087	1	1174,087	9,511	0,0033	0,1598
Error(Bedingung)	6171,961	50	123,439			
Fahrt	57,381	1	57,381	0,335	0,5656	0,0066
Error(Fahrt)	8576,796	50	171,536			
Bedingung * Fahrt	9,876	1	9,876	0,054	0,8173	0,0011
Error(Bedingung * Fahrt)	9154,057	50	183,081			

Vergleich Fahrten ohne und mit ACC

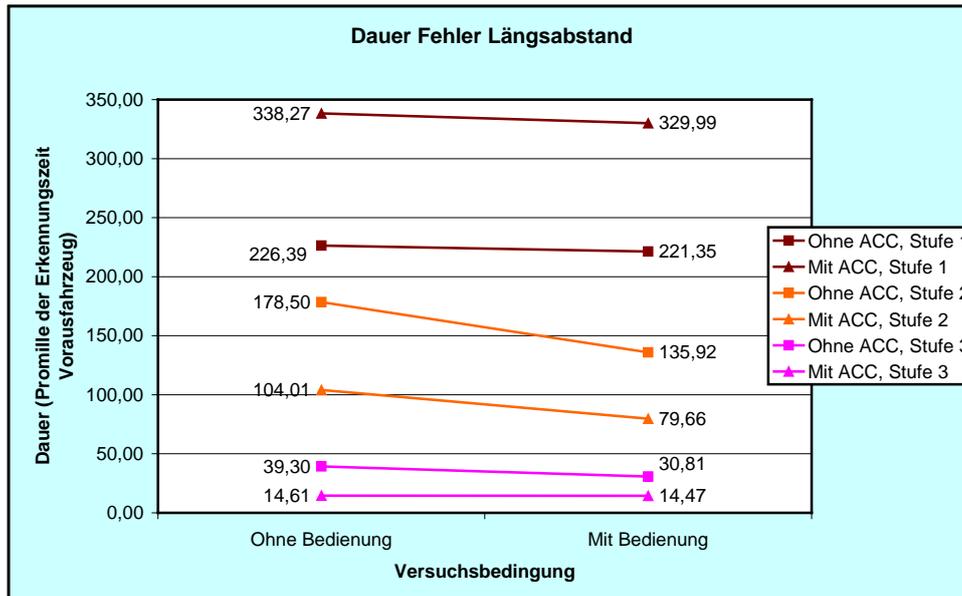


Abbildung 77. Gesamtdauer der Fehler Längsabstand zu gering für eigene Geschwindigkeit, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne und mit ACC

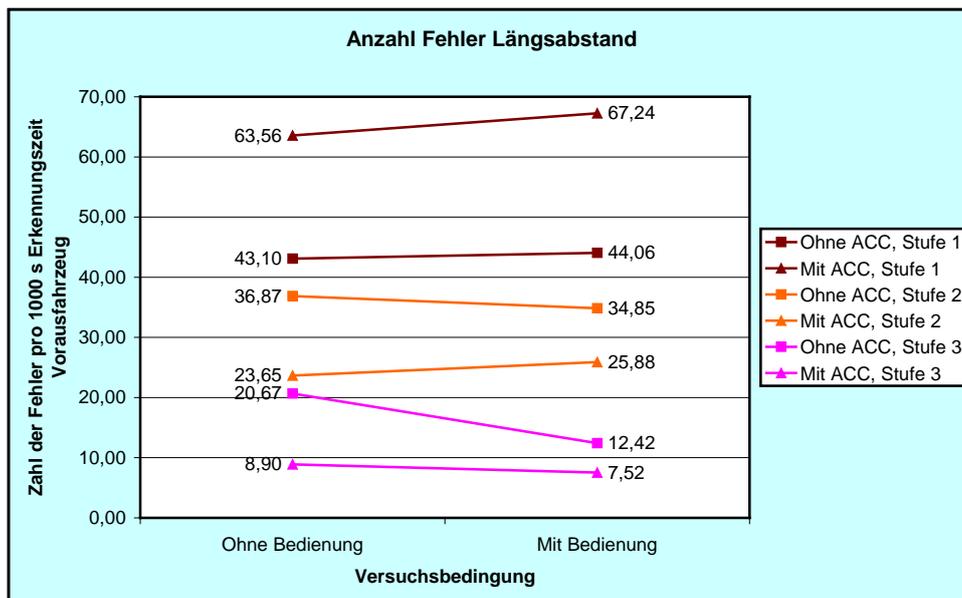


Abbildung 78. Anzahl der Fehler Längsabstand zu gering für eigene Geschwindigkeit, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne und mit ACC

Interpretation

Beim Fahren *mit ACC* zeigt sich unabhängig von der Bedieninstruktion eine deutliche Reduktion der Fehler *Längsabstand zu gering*. Eine Ausnahme davon bilden die Fehler der Fehlerstufe 1 (Abbildung 77 und Abbildung 78), die eine deutliche Verschlechterung zeigen (Fehlerdauer s.; $p < 0,01$; Fehleranzahl s.; $p < 0,05$). Der Sollabstand des ACC war ohne Ausnahmen auf 1,7 s eingestellt. Mit dieser Einstellung führte die ACC-Regelung beim automatisierten Heranfahen an ein langsames Vorderfahrzeug zu vorübergehenden Abständen, die bereits unter die Fehlerdefinition der Stufe 1 fallen und damit zu einer erheblichen Erhöhung von Dauer und Anzahl dieser Fehler.

Abstandsfehler der Stufen 2 und 3 kamen unter der automatischen Regelung nicht mehr vor, weshalb sich deren Dauer und Anzahl *mit ACC* signifikant reduziert ($p < 0,01$).

Beim Bedienen des Navigationssystems wurden wie beim *Überschreiten der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit* Fehlerdauer und Fehleranzahl für *Längsabstand zu gering* etwas reduziert, allerdings sind auch hier die Effekte im Straßenversuch deutlich geringer als im Simulator.

Signifikanztests

Längsabstand (th) Relative Fehlerdauer (Promille der Erkennungszeit Vorausfahrzeug)						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	665,80	1	665,80	0,152	0,7029	0,0107
Error(Bedingung)	61489,16	14	4392,08			
ACC	182359,39	1	182359,39	15,238	0,0016	0,5212
Error(ACC)	167541,48	14	11967,25			
Bedingung * ACC	39,45	1	39,45	0,007	0,9326	0,0005
Error(Bedingung * ACC)	74491,59	14	5320,83			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	16800,05	1	16800,05	5,672	0,0320	0,2883
Error(Bedingung)	41467,49	14	2961,96			
ACC	64101,58	1	64101,58	16,689	0,0011	0,5438
Error(ACC)	53772,73	14	3840,91			
Bedingung * ACC	1245,95	1	1245,95	0,322	0,5796	0,0225
Error(Bedingung * ACC)	54218,34	14	3872,74			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	278,49	1	278,49	0,273	0,6093	0,0191
Error(Bedingung)	14269,19	14	1019,23			
ACC	6311,48	1	6311,48	17,808	0,0009	0,5599
Error(ACC)	4961,84	14	354,42			
Bedingung * ACC	261,69	1	261,69	0,418	0,5286	0,0290
Error(Bedingung * ACC)	8774,78	14	626,77			
Längsabstand (th) Fehleranzahl (Zahl der Fehler pro 1000 s Erkennungszeit Vorausfahrzeug)						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	80,870	1	80,870	0,339	0,5695	0,0237
Error(Bedingung)	3337,624	14	238,402			
ACC	7140,304	1	7140,304	5,260	0,0378	0,2731
Error(ACC)	19003,107	14	1357,365			
Bedingung * ACC	27,800	1	27,800	0,040	0,8442	0,0029
Error(Bedingung * ACC)	9712,852	14	693,775			

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung

Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,157	1	0,157	0,001	0,9776	0,0001
Error(Bedingung)	2700,838	14	192,917			
ACC	1846,052	1	1846,052	10,171	0,0066	0,4208
Error(ACC)	2541,052	14	181,504			
Bedingung * ACC	68,000	1	68,000	0,134	0,7200	0,0095
Error(Bedingung * ACC)	7116,193	14	508,299			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	347,917	1	347,917	3,128	0,0987	0,1826
Error(Bedingung)	1557,347	14	111,239			
ACC	1042,627	1	1042,627	21,267	0,0004	0,6030
Error(ACC)	686,363	14	49,026			
Bedingung * ACC	176,456	1	176,456	1,767	0,2050	0,1121
Error(Bedingung * ACC)	1397,792	14	99,842			

8.3.4 Längsabstand zu gering für Differenzgeschwindigkeit

Nach IVI & TUD (2005, S. A/I-6, Auswertung S. 139)

Fahrfehler	Längsabstand zu gering für Differenzgeschwindigkeit
Situation	Annäherung an vorausfahrendes Fahrzeug Einscherendes fremdes Fahrzeug
Indikatoren/Messvariablen	Minimale Annäherungsdistanz Time-to-collision (<i>ttc</i>) Time-integrated <i>ttc</i> (<i>tit</i>)
Technische Anforderungen	Geschwindigkeitsmessung (Genauigkeit +/- 2,5 %) Abstandsmessung (Genauigkeit +/- 2 m)
Existierende Kriterien (Referenz)	Kritisch, wenn $ttc < 4,0$ s (Hirst et al., 1997; Minderhoud et al., 2001)
Verfahrenskriterium	$Time-to-collision: \quad ttc = d / (v - vv)$ <p>Mit</p> <p><i>ttc</i> Time-to-collision [s]</p> <p><i>d</i> Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug [m]</p> <p><i>v</i> Geschwindigkeit des eigenen Fahrzeugs [m/s]</p> <p><i>vv</i> Geschwindigkeit des vorausfahrenden Fahrzeugs [m/s]</p>
Fehlerstufe	0 wenn $ttc > 4,0$ s 1 wenn $(ttc \leq 4,0 \text{ s}) \ \& \ (ttc > 3,0 \text{ s})$ 2 wenn $(ttc \leq 3,0 \text{ s}) \ \& \ (ttc > 2,0 \text{ s})$ 3 wenn $ttc \leq 2,0$ s

Fahrten ohne ACC

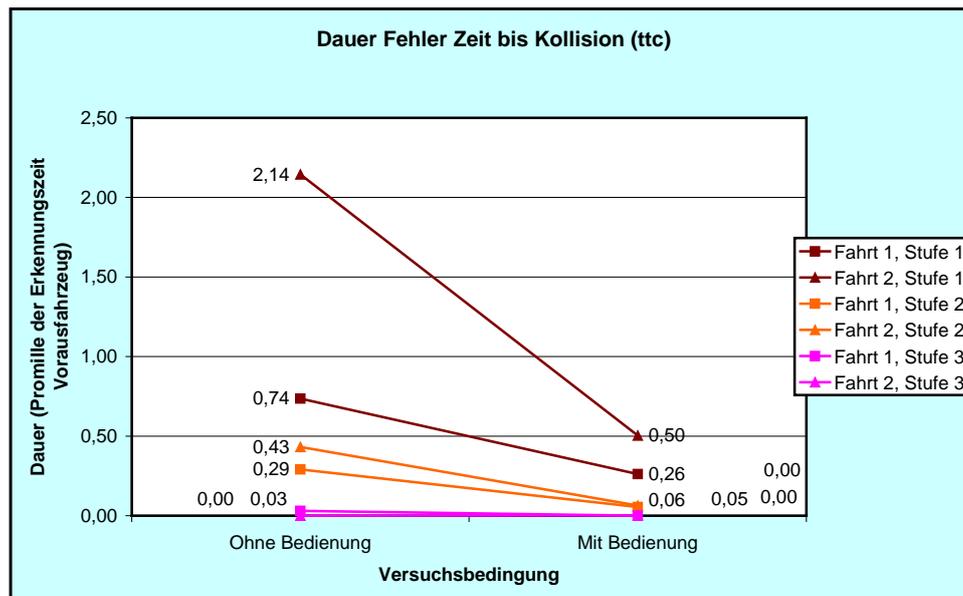


Abbildung 79. Gesamtdauer der Fehler Längsabstand zu gering für die Differenzgeschwindigkeit, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt, ohne ACC

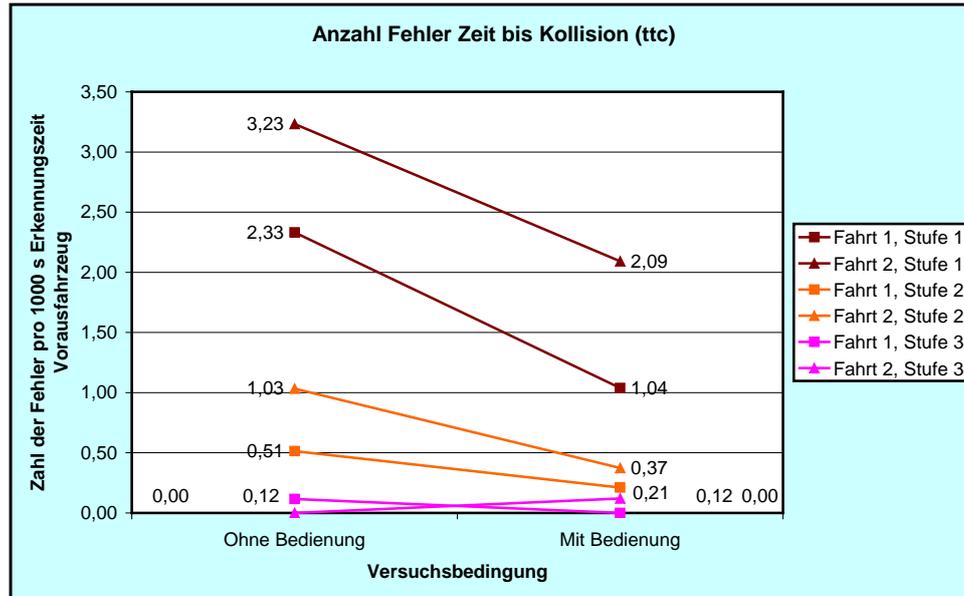


Abbildung 80. Anzahl der Fehler Längsabstand zu gering für die Differenzgeschwindigkeit, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt, ohne ACC

Interpretation

Die Variable *Time-to-collision (ttc)* wurde wie *th* auf den Autobahnfahrten für die Zeiten berechnet, in denen das Abstandsradar ein vorausfahrendes Fahrzeug erfasste.

Abbildung 79 und Abbildung 80 zeigen auch bei dieser Längsführungsvariablen eine Reduktion der Fehler unter Bedieninstruktion. Allerdings erreichen nur die *relative Fehlerdauer*, *Fehlerstufe 2* und die *Fehleranzahl*, *Fehlerstufe 1* das 5 %-Signifikanzniveau. Auch sind die Effektgrößen bei der Straßenfahrt deutlich geringer als im Simulator: Sie liegen in beiden Fällen nur bei 8 %.

Signifikanztests

Zeit bis Kollision (ttc) Relative Fehlerdauer (Promille der Erkennungszeit Vorausfahrzeug)						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	57,02	1	57,02	3,968	0,0519	0,0735
Error(Bedingung)	718,48	50	14,37			
Fahrt	34,75	1	34,75	2,330	0,1332	0,0445
Error(Fahrt)	745,61	50	14,91			
Bedingung * Fahrt	17,38	1	17,38	1,121	0,2947	0,0219
Error(Bedingung * Fahrt)	774,94	50	15,50			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	4,66	1	4,66	4,571	0,0374	0,0838
Error(Bedingung)	50,95	50	1,02			
Fahrt	0,29	1	0,29	0,248	0,6208	0,0049
Error(Fahrt)	58,23	50	1,16			
Bedingung * Fahrt	0,22	1	0,22	0,185	0,6687	0,0037
Error(Bedingung * Fahrt)	59,81	50	1,20			

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung

Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,01	1	0,01	0,840	0,3639	0,0165
Error(Bedingung)	0,59	50	0,01			
Fahrt	0,01	1	0,01	0,840	0,3639	0,0165
Error(Fahrt)	0,59	50	0,01			
Bedingung * Fahrt	0,01	1	0,01	1,161	0,2864	0,0227
Error(Bedingung * Fahrt)	0,58	50	0,01			
Zeit bis Kollision (ttc) Fehleranzahl (Zahl der Fehler pro 1000 s Erkennungszeit Vorausfahrzeug)						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	75,586	1	75,586	4,457	0,0398	0,0818
Error(Bedingung)	847,889	50	16,958			
Fahrt	48,703	1	48,703	1,897	0,1746	0,0366
Error(Fahrt)	1283,783	50	25,676			
Bedingung * Fahrt	0,303	1	0,303	0,012	0,9132	0,0002
Error(Bedingung * Fahrt)	1259,899	50	25,198			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	11,797	1	11,797	3,533	0,0660	0,0660
Error(Bedingung)	166,950	50	3,339			
Fahrt	5,936	1	5,936	1,619	0,2091	0,0314
Error(Fahrt)	183,336	50	3,667			
Bedingung * Fahrt	1,610	1	1,610	0,391	0,5347	0,0078
Error(Bedingung * Fahrt)	206,028	50	4,121			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,000	1	0,000	0,000	0,9831	0,0000
Error(Bedingung)	18,120	50	0,362			
Fahrt	0,000	1	0,000	0,000	0,9831	0,0000
Error(Fahrt)	18,120	50	0,362			
Bedingung * Fahrt	0,710	1	0,710	2,040	0,1594	0,0392
Error(Bedingung * Fahrt)	17,410	50	0,348			

Vergleich Fahrten ohne und mit ACC

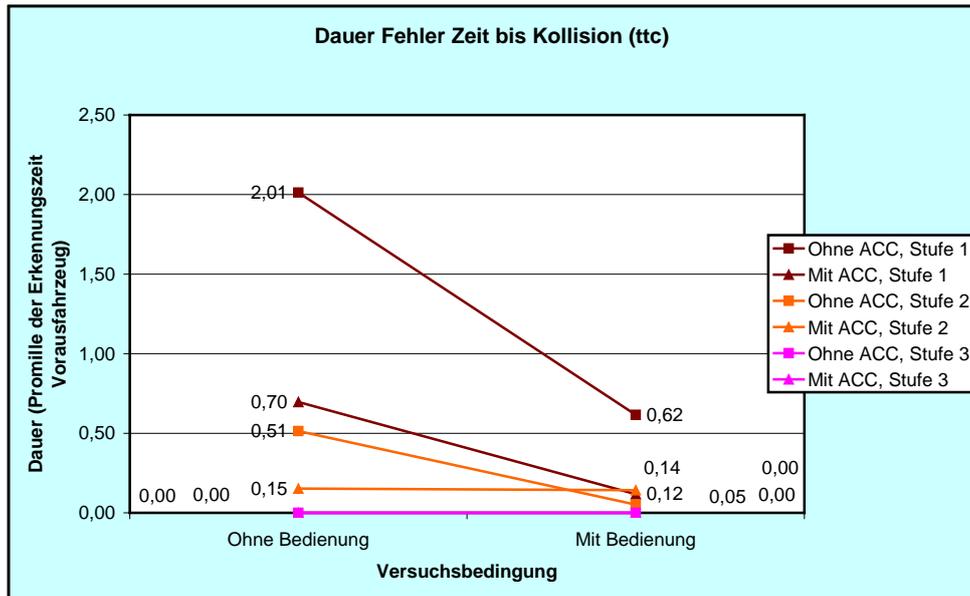


Abbildung 81. Gesamtdauer der Fehler Längsabstand zu gering für die Differenzgeschwindigkeit, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne und mit ACC

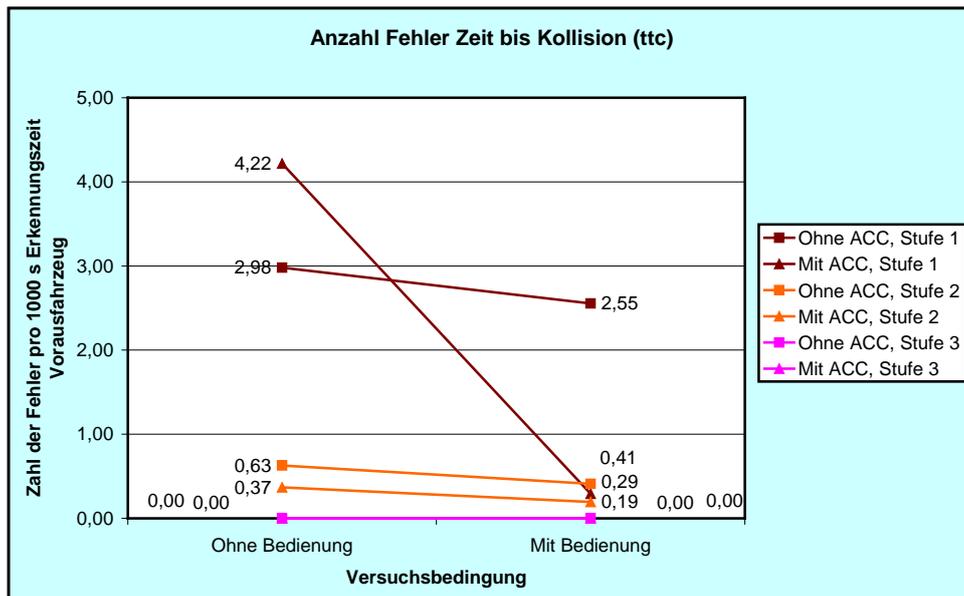


Abbildung 82. Anzahl der Fehler Längsabstand zu gering für die Differenzgeschwindigkeit, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne und mit ACC

Interpretation

Obwohl Abbildung 81 und Abbildung 82 eine Reduktion der Fehlerzahl unter Fahren mit ACC und unter Bedieninstruktion nahe legen, erreicht keiner der Haupteffekte für ACC und für *Bedienung* die Signifikanzgrenze. Interessanterweise kommt es aber bei der Variablen *ttc* auch nicht zu einem Anstieg der Fehlerstufe 1 durch die ACC-Regelung wie bei *th* des vorangegangenen Abschnitts.

Signifikanztests

Zeit bis Kollision (ttc) Relative Fehlerdauer (Promille der Erkennungszeit Vorausfahrzeug)						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	14,65	1	14,65	1,573	0,2303	0,1010
Error(Bedingung)	130,40	14	9,31			
ACC	12,37	1	12,37	1,557	0,2326	0,1001
Error(ACC)	111,28	14	7,95			
Bedingung * ACC	2,51	1	2,51	0,293	0,5971	0,0205
Error(Bedingung * ACC)	119,92	14	8,57			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,84	1	0,84	1,330	0,2680	0,0868
Error(Bedingung)	8,81	14	0,63			
ACC	0,28	1	0,28	0,411	0,5316	0,0285
Error(ACC)	9,37	14	0,67			
Bedingung * ACC	0,77	1	0,77	1,208	0,2903	0,0794
Error(Bedingung * ACC)	8,88	14	0,63			
In der Fehlerstufe 3 können keine Signifikanztests gerechnet werden.						
Zeit bis Kollision (ttc) Fehleranzahl (Zahl der Fehler pro 1000 s Erkennungszeit Vorausfahrzeug)						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	71,010	1	71,010	1,278	0,2772	0,0837
Error(Bedingung)	777,821	14	55,559			
ACC	3,940	1	3,940	0,193	0,6675	0,0136
Error(ACC)	286,418	14	20,458			
Bedingung * ACC	45,936	1	45,936	2,376	0,1455	0,1451
Error(Bedingung * ACC)	270,664	14	19,333			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,573	1	0,573	0,293	0,5967	0,0205
Error(Bedingung)	27,346	14	1,953			
ACC	0,851	1	0,851	0,440	0,5177	0,0305
Error(ACC)	27,067	14	1,933			
Bedingung * ACC	0,007	1	0,007	0,004	0,9535	0,0003
Error(Bedingung * ACC)	27,911	14	1,994			
In der Fehlerstufe 3 können keine Signifikanztests gerechnet werden.						

8.3.5 Unsicheres Spurhalten und Spur verlassen

Unsicheres Spurhalten nach IVI & TUD (2005, S. A/I-9)

Fahrfehler	Unsicheres Spurhalten
Situation	Fahrspur folgen
Indikatoren/Messvariablen	(1) Lenkwinkel: Standardabweichung (2) Spurposition: Standard-Deviation-of-Lane-Position (<i>sdlp</i>) (3) Time-to-Line-Crossing (<i>tlc</i>)
Technische Anforderungen	Zu (1): Lenkwinkelmessung Zu (2) und (3): Spurverfolgung
Existierende Kriterien (Referenz)	Zu (1): Fehler, wenn Standardabweichung Lenkwinkel $> 1,5^\circ$ (Brookhuis, 1995) Zu (2): Fehler, wenn $sdlp > 0,25$ m (Brookhuis, 1995) Zu (3): Fehler, wenn $tlc < 1,1$ s (Verwey, 2001, S. 420) Zu (3): Fehler, wenn tlc_{min} für rechte Spur $< 1,3$ s Fehler, wenn tlc_{min} für linke Spur $< 1,7$ s Fehler, wenn tlc_{med} für rechte Spur $< 3,1$ s Fehler, wenn tlc_{med} für linke Spur $< 4,0$ s (Brookhuis, 1995; Reichart, 2001)
Verfahrenskriterien	(2) Standard-Deviation-of-Lane-Position: <i>sdlp</i> (3) Time-to-Line-Crossing: $tlc = \frac{x_q}{v \cdot \sin \psi}$ Mit <i>tlc</i> Time-to-line-crossing [s] <i>x_q</i> Querabweichung zur Fahrstreifenbegrenzung [m] <i>v</i> Geschwindigkeit des Fahrzeugs [m/s] <i>ψ</i> Gierwinkel (Winkel Fahrzeuglängsachse zur Fahrstreifenmitte)
Fehlerstufe <i>SDLP</i>	0 wenn $sdlp \leq 0,25$ m 1 wenn $(sdlp > 0,25 \text{ m}) \& (sdlp \leq 0,35 \text{ m})$ 2 wenn $(sdlp > 0,35 \text{ m}) \& (sdlp \leq 0,5 \text{ m})$ 3 wenn $sdlp > 0,5$ m
Fehlerstufe <i>TLC</i>	0 wenn $tlc \geq 1,3$ s 1 wenn $(tlc < 1,3 \text{ s}) \& (tlc \geq 0,9 \text{ s})$ 2 wenn $(tlc < 0,9 \text{ s}) \& (tlc \geq 0,3 \text{ s})$ 3 wenn $tlc < 0,3$ s

Spur verlassen nach IVI & TUD (2005, S. A/I-10, Auswertung S. 150)

Fahrfehler	Spur verlassen (absichtlich oder unabsichtlich)
Situation	Fahrspur folgen
Indikatoren/Messvariablen	Position relativ zur Fahrspur (Ablage)
Technische Anforderungen	Spurverfolgung
Existierende Kriterien (Referenz)	Fehler, wenn Spurverlassen für mehr als 0,25 s (Nowakowski, 2000)
Verfahrenskriterium	<i>Überfahren der Spurbegrenzung mit der Außenkontur des Fahrzeugs (Berechnung aufgrund der Fahrdaten im Simulatorversuch)</i>
Fehlerstufe	0 wenn Abweichung $\leq 0,1$ m 1 wenn (Abweichung $> 0,1$ m) & (Abweichung $\leq 0,25$ m) 2 wenn (Abweichung $> 0,25$ m) & (Abweichung $\leq 0,5$ m) 3 wenn Abweichung $> 0,5$ m

Ergebnis

Spurhaltevariablen wurden im Straßenversuch nicht erfasst.

8.3.6 Zu geringer Seitenabstand beim Passieren anderer Fahrzeuge Nach IVI & TUD (2005, S. A/I-7)

Fahrfehler	Zu geringer Seitenabstand beim Passieren
Situation	Passieren anderer Fahrzeuge in gleicher Fahrtrichtung Passieren entgegenkommender Fahrzeuge
Indikatoren/Messvariablen	Seitlicher Abstand [m]
Technische Anforderungen	Seitenabstandsmessung (Genauigkeit +/- 0,05 m)
Existierende Kriterien (Referenz)	Gleiche Fahrtrichtung: Fehler, wenn Seitenabstand < 1,5 m (Fastenmeier, 1995) Entgegengesetzte Fahrtrichtung: Mindestabstand zur Fahrstreifenbegrenzung bei Vorbeifahrt am Gegenverkehr 0,25 m (Reichart, 2001)
Fehlerstufe gleiche Fahrtrichtung	0 wenn Seitenabstand \geq 1,5 m 1 wenn (Seitenabstand < 1,5 m) & (Seitenabstand \geq 1,0 m) 2 wenn (Seitenabstand < 1,0 m) & (Seitenabstand \geq 0,5 m) 3 wenn Seitenabstand < 0,5 m

Ergebnis

Der Seitenabstand beim Passieren anderer Fahrzeuge in gleicher oder entgegenkommender Fahrtrichtung wurde im Straßenversuch nicht erfasst.

8.3.7 Blickabwendungen von der Straße zu lange oder zu häufig

Nach IVI & TUD (2005, S. A/I-18, Auswertung th-EORT, S. 123 und ttc-EORT, S. 126)

Fahrfehler	Zu lange oder zu häufige Blickabwendungen von der Straße
Situation	Hauptbelastung in der Fahraufgabe (z. B. Folgefahren, Annähern, Spurwechsel)
Indikatoren/Messvariablen	Fixationsorte, Fixationsdauern Total Completion Time (tct) Eyes-Off-the-Road-Time (eort) Total-Glance-Time-During-Operation (tgtd)
Technische Anforderungen	Blickregistrierung
Existierende Kriterien (Referenz)	2-Sekunden-Regel: Die Dauer einzelner Blicke darf jeweils 2 s nicht überschreiten (Zwahlen et al., 1988) 15-Sekunden-Regel: Ausführungszeit für eine Aufgabe darf im Stand 15 s nicht überschreiten (SAE J2365; Curry et al., 2002) Maximale Abwendungszeit = f (Bremsweg, Reaktionsweg); (Schweigert, 2003)
Verfahrenskriterien	<p>Für Folgefahren (mit annähernd gleicher Geschwindigkeit wie Vorderfahrzeug):</p> $\text{Zeitreserve: } t_{res} = th - eort$ <p>Für Annähern (mit größerer Unterschiedsgeschwindigkeit zum Vorderfahrzeug):</p> $\text{Zeitreserve: } t_{res} = ttc - eort$ <p>Mit</p> <p><i>th</i> Zeitlicher Abstand (time headway) zum vorausfahrenden Fahrzeug [s]</p> <p><i>eort</i> Eyes-Off-the-Road-Time [s]</p> <p><i>ttc</i> Time-to-collision [s]</p>
Fehlerstufe für Folgefahren	0 wenn $t_{res} \geq 1,7 \text{ s}$ 1 wenn $(t_{res} < 1,7 \text{ s}) \ \& \ (t_{res} \geq 1,2 \text{ s})$ 2 wenn $(t_{res} < 1,2 \text{ s}) \ \& \ (t_{res} \geq 0,7 \text{ s})$ 3 wenn $t_{res} < 0,7 \text{ s}$
Fehlerstufe für Annähern	0 wenn $t_{res} \geq 4,0 \text{ s}$ 1 wenn $(t_{res} < 4,0 \text{ s}) \ \& \ (t_{res} \geq 3,0 \text{ s})$ 2 wenn $(t_{res} < 3,0 \text{ s}) \ \& \ (t_{res} \geq 2,0 \text{ s})$ 3 wenn $t_{res} < 2,0 \text{ s}$

Vgl. Anmerkung in Abschnitt 6.3.7.

Fahrten ohne ACC

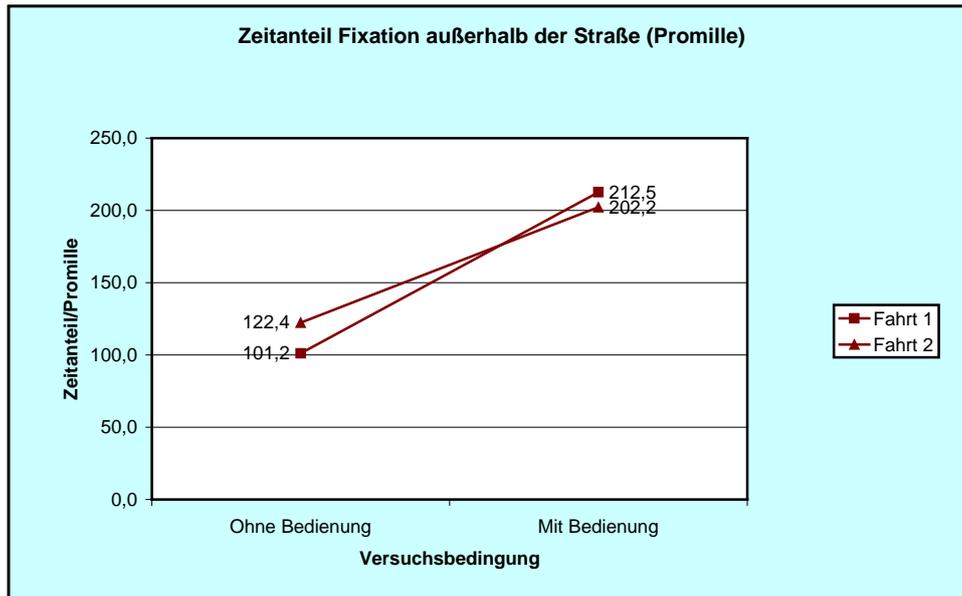


Abbildung 83. Zeitanteil Fixation außerhalb der Straße, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt, ohne ACC

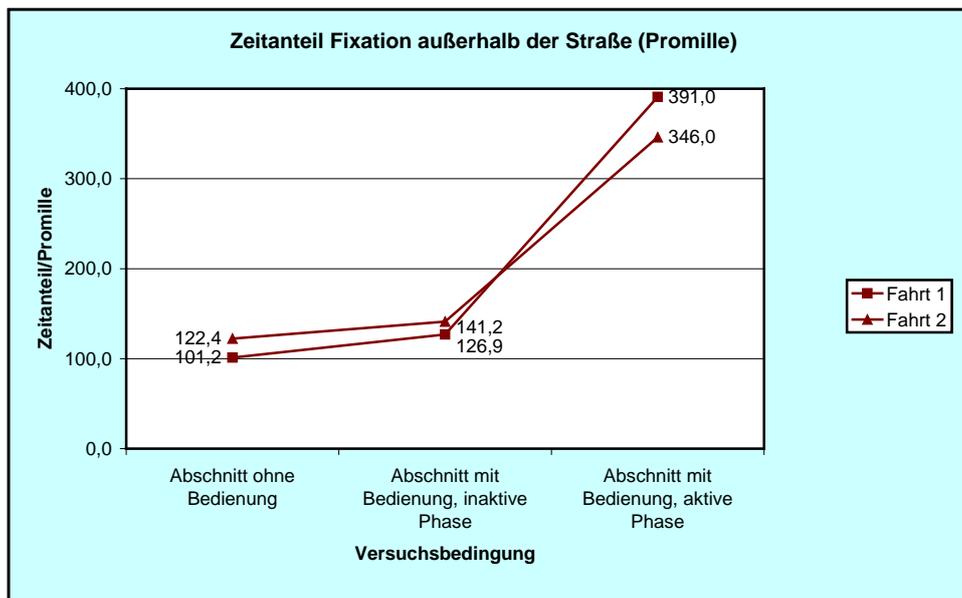


Abbildung 84. Zeitanteil Fixation außerhalb der Straße, Abschnitte ohne und mit Bedienung, Abschnitte mit Bedienung in aktive und inaktive Phase aufgeteilt, getrennt nach erster und zweiter Fahrt, ohne ACC

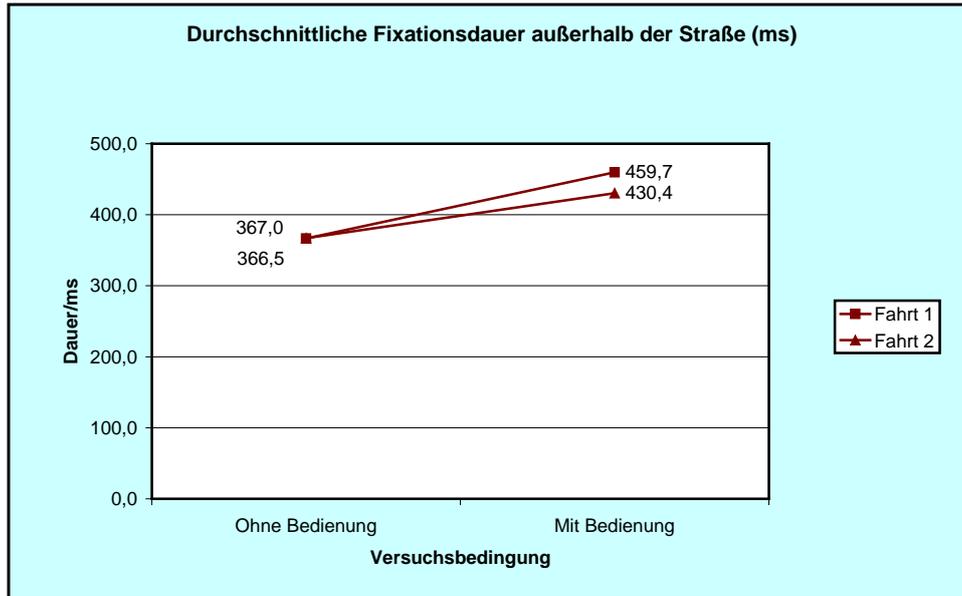


Abbildung 85. Durchschnittliche Fixationsdauer (ms) außerhalb der Straße, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt, ohne ACC

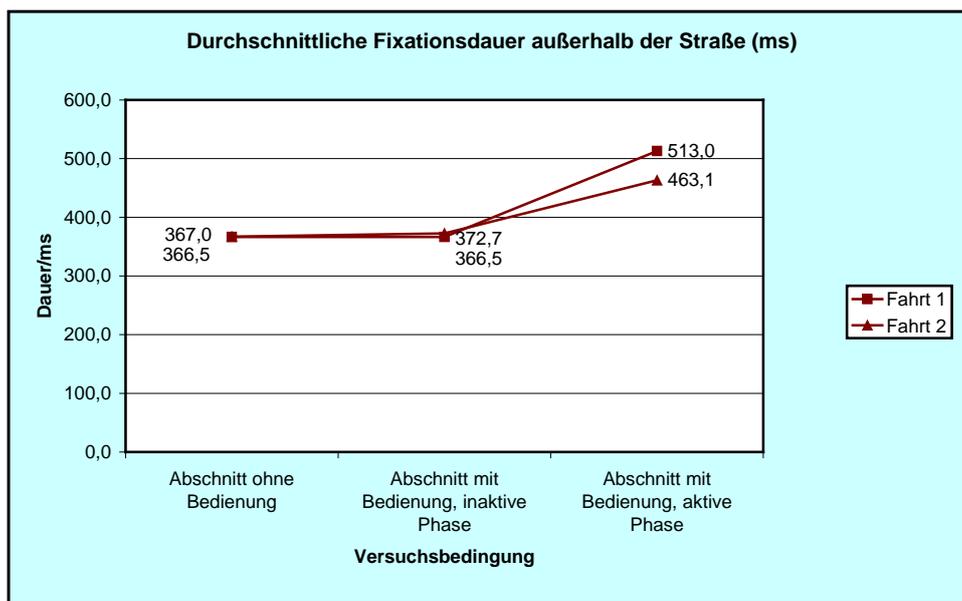


Abbildung 86. Durchschnittliche Fixationsdauer außerhalb der Straße, Abschnitte ohne und mit Bedienung, Abschnitte mit Bedienung in aktive und inaktive Phase aufgeteilt, getrennt nach erster und zweiter Fahrt, ohne ACC

Interpretation

Wie im Simulatorversuch wurden bei der Auswertung der FaceLab-Daten die Blickrichtungen *Tachometer* und *Head Unit* zu einem Wert *außerhalb der Straße* zusammengefasst.

Die Daten zur Blickabwendung zeigen im Simulator- und im Straßenversuch annähernd gleich starke Effekte der Bedieninstruktion. In Abbildung 83 ist wiedergegeben, wie lange die Vpn im Durchschnitt in Abschnitten *ohne Bedienung* und in Abschnitten *mit Bedienung* Bereiche *außerhalb der Straße* fixieren, d. h. den PKW-Innenraum und – in Abschnitten *mit Bedienung* – das Na-

vigationssystem. Wie im Simulator erhöht sich unter Bedieninstruktion dieser Zeitanteil erheblich von 11,2 % auf 20,7 %. Auch in der *inaktiven Phase* der Abschnitte *mit Bedienung* zeigt sich bereits eine leichte Zunahme dieses Anteils von 11,2 % auf 13,4 % (Abbildung 84). Es kommt offensichtlich zu vorbereitenden Fixierungen des Navigationssystems, bevor aktiv reagiert wird, aber auch zu „nachbereitenden“ Kontrollblicken, wenn die Bedienhandlung bereits beendet ist.

Auch die bereits im Simulatorversuch aufgetretene signifikante Wechselwirkung zwischen *erster/zweiter Fahrt* und *Zeitanteil Fixation außerhalb Straße* (s. Abbildung 33) findet sich an dieser Stelle wieder. In Abbildung 83 ist zu erkennen, dass der Zeitanteil der Blickrichtung auf den Innenraum des Fahrzeugs unter Bedieninstruktion während der zweiten Fahrt etwas geringer ist als während der ersten Fahrt, während für die Abschnitte ohne Bedienung das Umgekehrte gilt. Darin dürfte sich ein Übungsgewinn bei der Bedienung des Navigationssystems ausdrücken.

Im Unterschied zu den Ergebnissen im Simulatorversuch zeigt sich im Straßenversuch auch eine signifikante Zunahme der durchschnittlichen Dauer der einzelnen Fixationen auf Punkte im Innenraum des Fahrzeugs (Abbildung 85 und Abbildung 86). Sie steigt von 366,8 ms *ohne Bedienung* auf 445,1 ms *mit Bedienung* an. Der Blick wird also sowohl häufiger als auch länger von der Straße abgewandt, wenn das Navigationssystem bedient werden muss.

Signifikanztests

Zeitanteil Fixation außerhalb Straße (Promille)						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	539336,97	1	539336,97	95,927	0,0000	0,6232
Error(Bedingung)	326099,03	58	5622,40			
Fahrt	1757,36	1	1757,36	0,263	0,6099	0,0045
Error(Fahrt)	387411,64	58	6679,51			
Bedingung * Fahrt	14627,81	1	14627,81	11,491	0,0013	0,1654
Error(Bedingung * Fahrt)	73831,19	58	1272,95			
Zeitanteil Fixation außerhalb Straße (Promille) Mit Bedienung in Phasen aufgeteilt						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	4774355,94	2	2387177,97	107,796	0,0000	0,6502
Error(Bedingung)	2568868,06	116	22145,41			
Fahrt	879,56	1	879,56	0,090	0,7658	0,0015
Error(Fahrt)	569412,11	58	9817,45			
Bedingung * Fahrt	77948,97	2	38974,48	13,041	0,0000	0,1836
Error(Bedingung * Fahrt)	346668,37	116	2988,52			
Durchschnittliche Fixationsdauer außerhalb Straße (ms)						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	361456,34	1	361456,34	15,747	0,0002	0,2135
Error(Bedingung)	1331302,66	58	22953,49			
Fahrt	12216,97	1	12216,97	0,844	0,3620	0,0143
Error(Fahrt)	839372,03	58	14471,93			
Bedingung * Fahrt	13155,27	1	13155,27	2,096	0,1531	0,0349
Error(Bedingung * Fahrt)	364010,73	58	6276,05			
Durchschnittliche Fixationsdauer außerhalb Straße (ms) Mit Bedienung in Phasen aufgeteilt						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	1131827,51	2	565913,75	14,818	0,0000	0,2035
Error(Bedingung)	4430216,49	116	38191,52			
Fahrt	18296,68	1	18296,68	0,768	0,3846	0,0131
Error(Fahrt)	1382431,82	58	23835,03			
Bedingung * Fahrt	56247,63	2	28123,82	3,412	0,0363	0,0556
Error(Bedingung * Fahrt)	956254,37	116	8243,57			

Vergleich Fahrten ohne und mit ACC

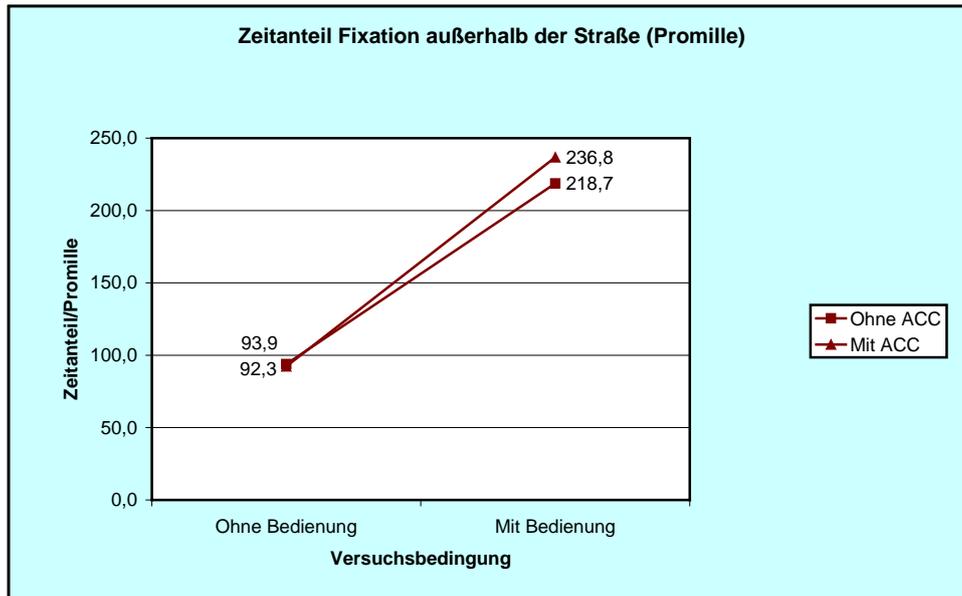


Abbildung 87. Zeitanteil Fixation außerhalb der Straße, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne und mit ACC

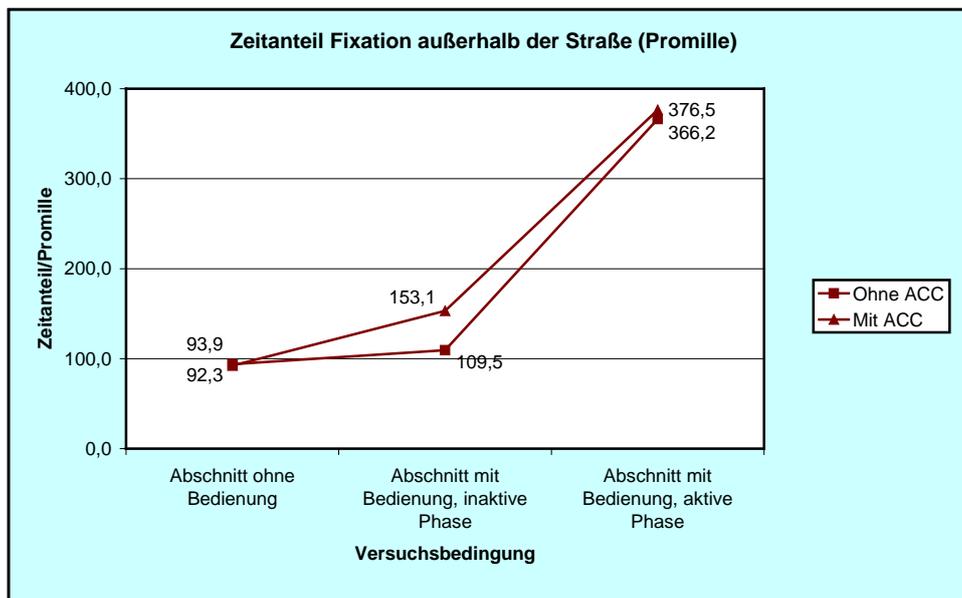


Abbildung 88. Zeitanteil Fixation außerhalb der Straße, Abschnitte ohne und mit Bedienung, Abschnitte mit Bedienung in aktive und inaktive Phase aufgeteilt, ohne und mit ACC

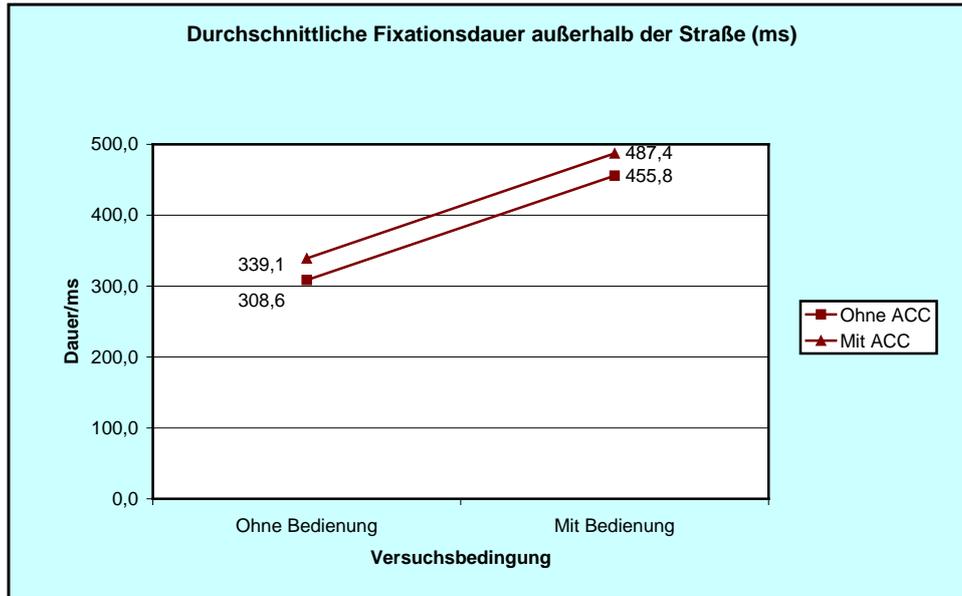


Abbildung 89. Durchschnittliche Fixationsdauer (ms) außerhalb der Straße, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne und mit ACC

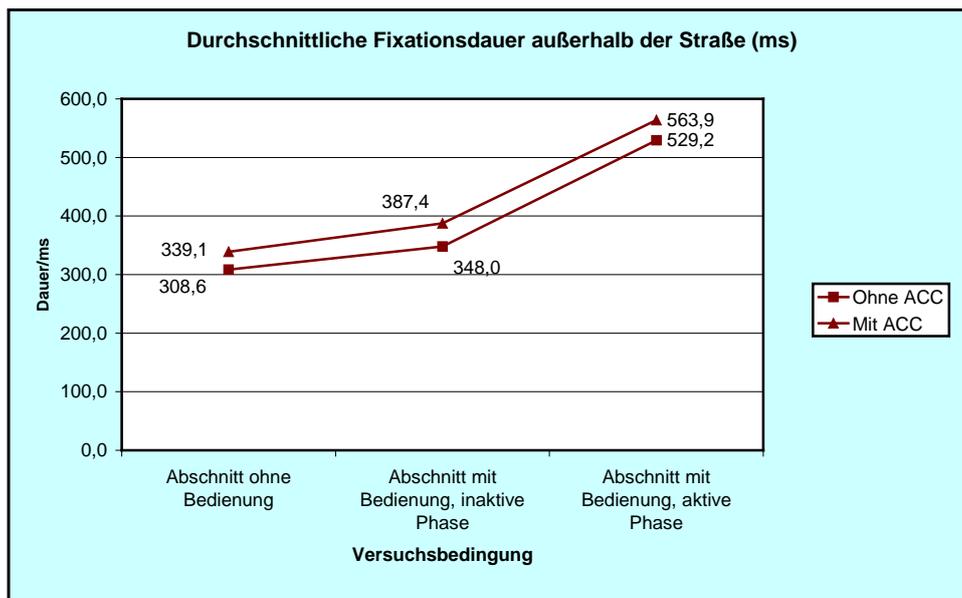


Abbildung 90. Durchschnittliche Fixationsdauer außerhalb der Straße, Abschnitte ohne und mit Bedienung, Abschnitte mit Bedienung in aktive und inaktive Phase aufgeteilt, ohne und mit ACC

Interpretation

Abbildung 87 bis Abbildung 90 lassen vermuten, dass beim Fahren *mit ACC* der Innenraum des Fahrzeugs und speziell das Display des Navigationssystems unter Bedieninstruktion häufiger und länger fixiert werden als *ohne ACC*. Dies ist naheliegend, da bei einer automatischen Abstandskontrolle ein etwas größerer Spielraum für Blickabwendungen von der Straße bleibt. Allerdings erreicht der zugehörige Haupteffekt *ohne* und *mit ACC* die Signifikanzgrenze nicht und sollte daher nicht interpretiert werden. Der Haupteffekt *Bedienung* zeigt dagegen vergleichbare Effekte wie bei den *Fahrten ohne ACC*.

Signifikanztests

Zeitanteil Fixation außerhalb Straße (Promille)						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	272026,67	1	272026,67	29,552	0,0001	0,6785
Error(Bedingung)	128870,33	14	9205,02			
ACC	1025,07	1	1025,07	0,527	0,4797	0,0363
Error(ACC)	27219,93	14	1944,28			
Bedingung * ACC	1460,27	1	1460,27	0,665	0,4286	0,0453
Error(Bedingung * ACC)	30758,73	14	2197,05			
Zeitanteil Fixation außerhalb Straße (Promille) Mit Bedienung in Phasen aufgeteilt						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	1365235,82	2	682617,91	35,652	0,0000	0,7180
Error(Bedingung)	536101,18	28	19146,47			
ACC	6829,51	1	6829,51	1,217	0,2886	0,0800
Error(ACC)	78566,16	14	5611,87			
Bedingung * ACC	8237,42	2	4118,71	1,293	0,2904	0,0845
Error(Bedingung * ACC)	89196,91	28	3185,60			
Durchschnittliche Fixationsdauer außerhalb Straße (ms)						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	327524,82	1	327524,82	14,125	0,0021	0,5022
Error(Bedingung)	324631,43	14	23187,96			
ACC	14446,02	1	14446,02	0,917	0,3544	0,0615
Error(ACC)	220437,23	14	15745,52			
Bedingung * ACC	4,82	1	4,82	0,001	0,9711	0,0001
Error(Bedingung * ACC)	49572,43	14	3540,89			
Durchschnittliche Fixationsdauer außerhalb Straße (ms) Mit Bedienung in Phasen aufgeteilt						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	835277,07	2	417638,53	7,287	0,0028	0,3423
Error(Bedingung)	1604709,27	28	57311,05			
ACC	27352,90	1	27352,90	2,770	0,1183	0,1652
Error(ACC)	138238,60	14	9874,19			
Bedingung * ACC	299,47	2	149,73	0,032	0,9684	0,0023
Error(Bedingung * Fahrt)	130541,53	28	4662,20			

Die Häufigkeitsverteilungen der Blickabwendungsdauer Fahrten ohne ACC

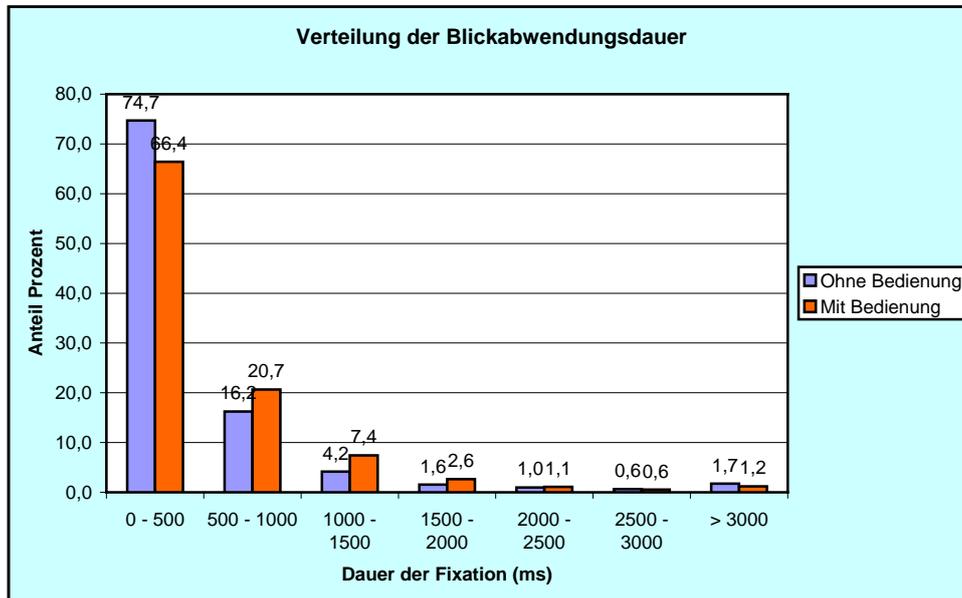


Abbildung 91. Die Dauer der Fixationen außerhalb der Straße, Häufigkeitsverteilung über alle Personen und beide Fahrten hinweg, Abschnitte ohne ($n = 26135 = 100\%$) und mit ($n = 43996 = 100\%$) Bedienung, ohne ACC

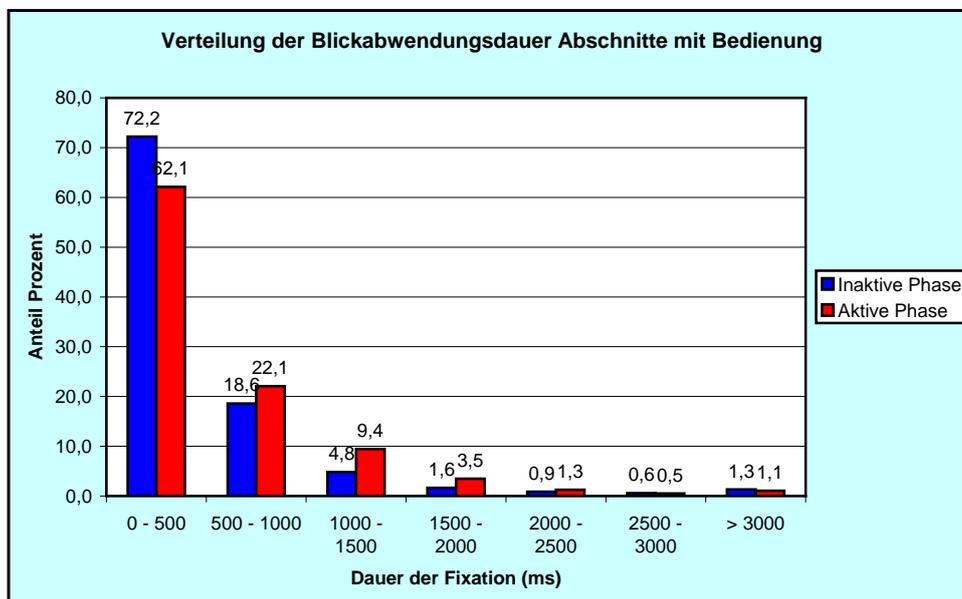


Abbildung 92. Die Dauer der Fixationen außerhalb der Straße, Häufigkeitsverteilung über alle Personen und beide Fahrten hinweg, nur Abschnitte mit Bedienung, aufgeteilt in inaktive ($n = 20526 = 100\%$) und aktive ($n = 23943 = 100\%$) Phase, ohne ACC. Anmerkung: Die Summe der n für inaktive und aktive Phase weicht geringfügig von n in der Phase mit Bedienung in Abbildung 91 ab, da Fixationen, die sich über Abschnittsgrenzen hinweg erstrecken, anteilig bei beiden Abschnitten gezählt wurden

Vergleich Fahrten ohne und mit ACC

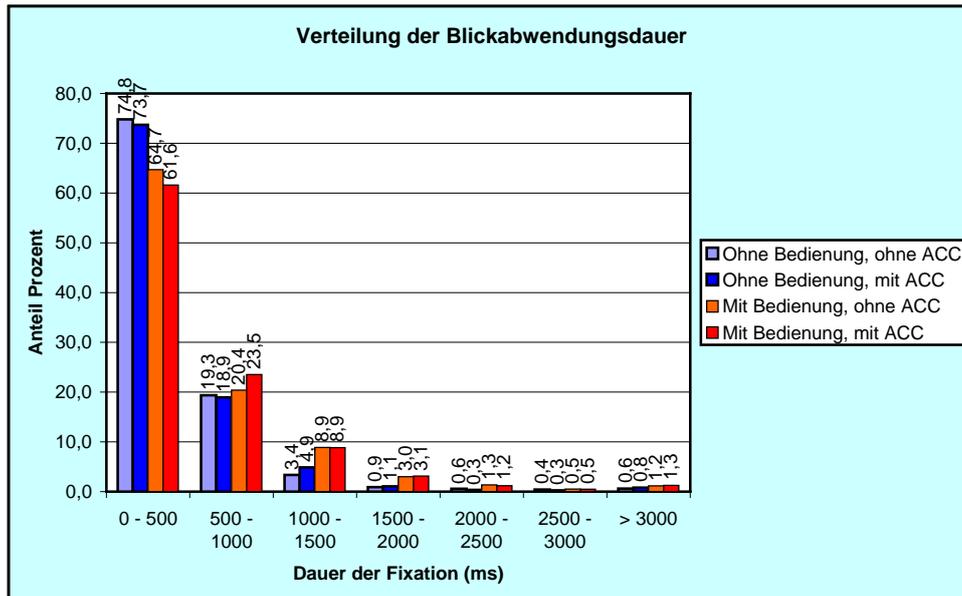


Abbildung 93. Die Dauer der Fixationen außerhalb der Straße, Häufigkeitsverteilung über alle Personen und Fahrten hinweg, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne und mit ACC. Die auf 100 % gesetzten Gesamthäufigkeiten betragen in der Reihenfolge der Legende n = 2920, 2335, 5145, 3818

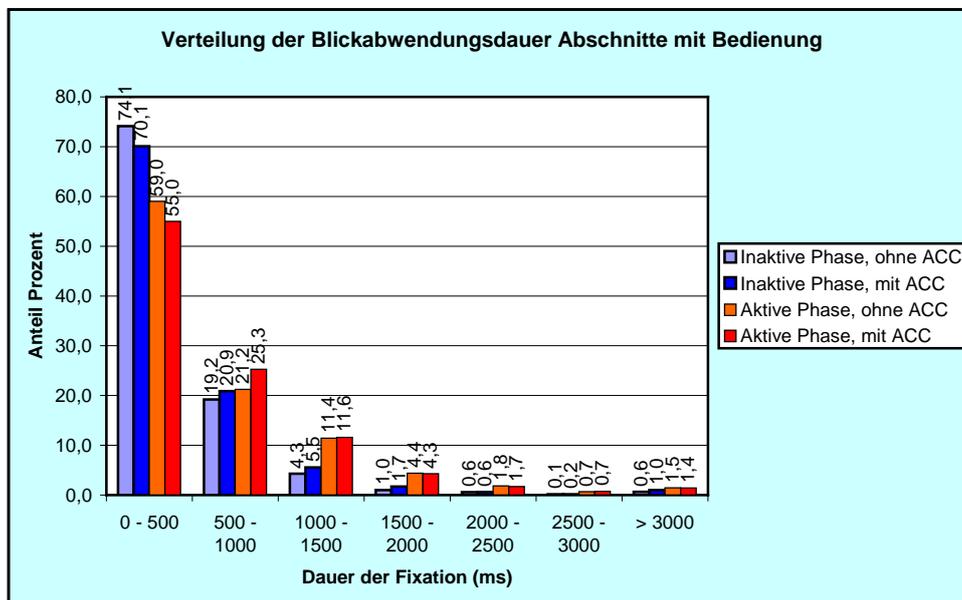


Abbildung 94. Die Dauer der Fixationen außerhalb der Straße, Häufigkeitsverteilung über alle Personen und Fahrten hinweg, nur Abschnitte mit Bedienung, aufgeteilt in inaktive und aktive Phase, ohne und mit ACC. Die auf 100 % gesetzten Gesamthäufigkeiten betragen in der Reihenfolge der Legende n = 2022, 1802, 3172, 2053. Siehe Anmerkung in der Legende zu Abbildung 92

Fehlerstufen Blickabwendung von der Straße, Fahrten ohne ACC

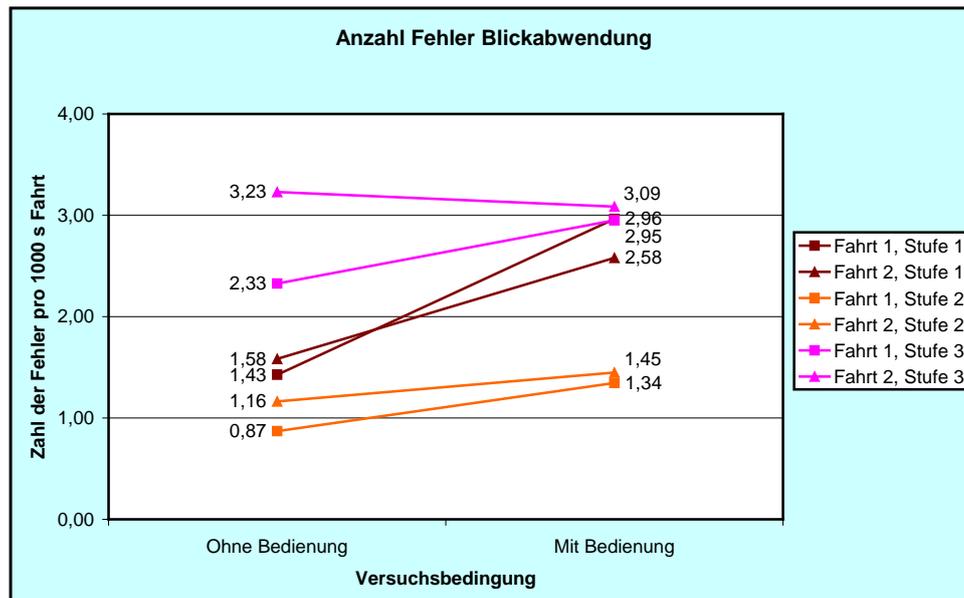


Abbildung 95. Anzahl der Fehler zu lange Blickabwendung von der Straße, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt, ohne ACC

Interpretation Fehlerstufen

Für die Definition der Fehlerstufen bei der Blickabwendungsdauer wurde wie im Simulatorversuch die *Zwei-Sekunden-Regel* angewandt. Die genauen Grenzen für die einzelnen Fehlerstufen finden sich in der Tabelle am Beginn des Abschnitts 6.3.7 unter *Fehlerstufe allgemein*. Abbildung 95 zeigt eine hoch signifikante Erhöhung der Fehler *Blickabwendungsdauer zu lang* für Fehlerstufe 1 und eine auf dem 5 %-Niveau signifikante Zunahme für Fehlerstufe 2. In der Fehlerstufe 3, die insgesamt die höchste Fehlerzahl aufwies, ergab sich keine zusätzliche Erhöhung unter der Bedieninstruktion. Somit zeigt sich auch im Straßenversuch eine massive Sicherheitsminderung unter der Zusatzaufgabe *Bedienung des Navigationssystems*.

Signifikanztests

Blickabwendung Fehleranzahl						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	94,72	1	94,72	14,442	0,0003	0,1994
Error(Bedingung)	380,40	58	6,56			
Fahrt	0,77	1	0,77	0,169	0,6826	0,0029
Error(Fahrt)	263,48	58	4,54			
Bedingung * Fahrt	4,32	1	4,32	3,149	0,0812	0,0515
Error(Bedingung * Fahrt)	79,52	58	1,37			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	8,52	1	8,52	6,306	0,0148	0,0981
Error(Bedingung)	78,37	58	1,35			
Fahrt	2,30	1	2,30	0,849	0,3607	0,0144
Error(Fahrt)	157,45	58	2,71			
Bedingung * Fahrt	0,53	1	0,53	0,660	0,4199	0,0113
Error(Bedingung * Fahrt)	46,30	58	0,80			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	3,40	1	3,40	0,434	0,5124	0,0074
Error(Bedingung)	453,31	58	7,82			
Fahrt	15,93	1	15,93	1,624	0,2075	0,0272
Error(Fahrt)	568,62	58	9,80			
Bedingung * Fahrt	8,71	1	8,71	2,435	0,1241	0,0403
Error(Bedingung * Fahrt)	207,55	58	3,58			

Fehlerstufen Blickabwendung von der Straße, Fahrten ohne und mit ACC

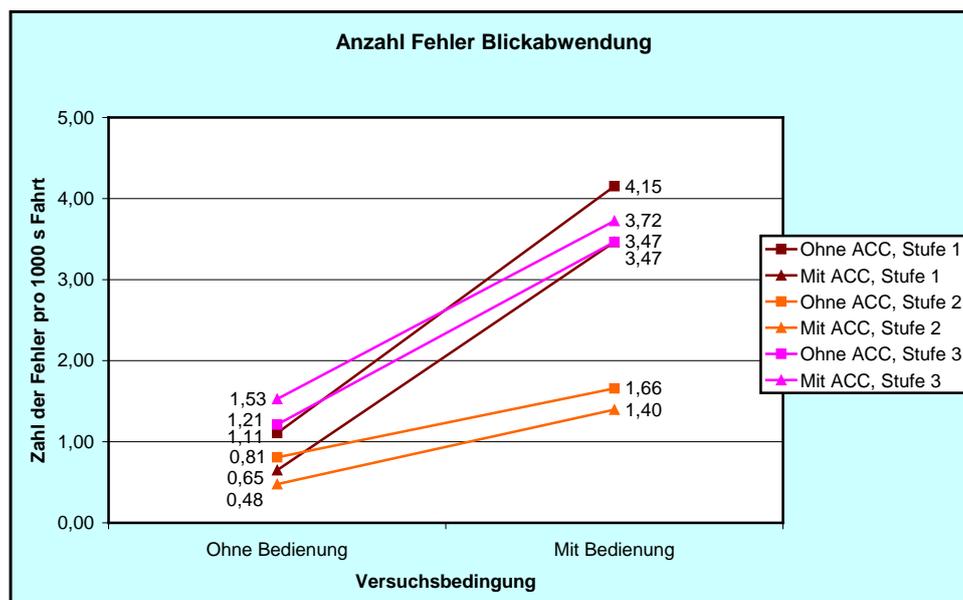


Abbildung 96. Anzahl der Fehler zu lange Blickabwendung von der Straße, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne und mit ACC

Interpretation Fehlerstufen

Das Fahren mit ACC führte zu keiner signifikanten Veränderung auf den verschiedenen Fehlerstufen der Blickabwendung (Abbildung 96). Es bleibt nur der Haupteffekt *Bedienung*, der in diesem Teilversuch allerdings nur bei Fehlerstufe 1 das 5 %-Signifikanzniveau erreichte. Wie auch der Vergleich von Abbildung 95 mit Abbildung 96 nahelegt, sind die Effektgrößen für den Unterschied *ohne* und *mit Bedienung* im Versuchsteil *mit ACC* größer als im Versuchsteil *ohne ACC*. Dass dennoch nur ein niedrigeres Signifikanzniveau erreicht oder die Signifikanzgrenze sogar verfehlt wurde, liegt an der kleineren Vpn-Zahl.

Signifikanztests

Blickabwendung Fehleranzahl						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	128,86	1	128,86	5,490	0,0344	0,2817
Error(Bedingung)	328,64	14	23,47			
ACC	4,91	1	4,91	0,724	0,4093	0,0491
Error(ACC)	94,96	14	6,78			
Bedingung * ACC	0,20	1	0,20	0,100	0,7570	0,0071
Error(Bedingung * ACC)	27,66	14	1,98			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	11,74	1	11,74	2,922	0,1094	0,1727
Error(Bedingung)	56,24	14	4,02			
ACC	1,31	1	1,31	0,525	0,4808	0,0361
Error(ACC)	35,03	14	2,50			
Bedingung * ACC	0,02	1	0,02	0,065	0,8027	0,0046
Error(Bedingung * ACC)	3,71	14	0,27			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	74,27	1	74,27	2,803	0,1163	0,1668
Error(Bedingung)	370,97	14	26,50			
ACC	1,24	1	1,24	0,173	0,6838	0,0122
Error(ACC)	100,28	14	7,16			
Bedingung * ACC	0,01	1	0,01	0,002	0,9627	0,0002
Error(Bedingung * ACC)	70,95	14	5,07			

8.3.8 Geschwindigkeit zu hoch für Straßenverlauf – Querschleunigung Nach IVI & TUD (2005, S. A/I-2)

Fahrfehler	Geschwindigkeit zu hoch für Straßenverlauf										
Situation	Kurve										
Indikatoren/Messvariablen	Eigene Geschwindigkeit (Quer-)Beschleunigung Kurvenradius										
Technische Anforderungen	Geschwindigkeitsmessung (Genauigkeit +/- 2 %) Querschleunigung messen (Genauigkeit +/- 5 %) Positionsbestimmung (GPS, Genauigkeit +/- 1 m) GPS-Streckenkoordinaten (digitale Karte, Genauigkeit +/- 1 m)										
Existierende Kriterien (Referenz)	Normal: $q = 2 - 4 \text{ m/s}^2$ Unnormal, wenn ... bis 60 km/h: $q > 0,5 \text{ g}$ bis 120 km/h: $q > 0,3 \text{ g}$ bis 160 km/h: $q > 0,2 \text{ g}$ (Lechner, 1992; zitiert nach Reichart, 2001)										
	Entwurfsgeschwindigkeit v_{85}										
	Faustregel (bei trockener Straße): Fehler bei $v > 11 \cdot r^{1/2}$ Mit $v = \text{Geschwindigkeit [km/h]}$ $r = \text{Kurvenradius [m]; (Reichart, 2001)}$										
Verfahrenskriterium	$queproz = (ABS(q) - qgr) \cdot 100 / qgr$ <p>Mit</p> <p>$queproz$ Überschreitung des Querschleunigungs-Grenzwertes [%] $ABS(q)$ Tatsächliche Querschleunigung [m/s^2] qgr Grenzwert für Querschleunigung [m/s^2]</p> <p>Dabei gilt:</p> <table> <tr> <td>Geschwindigkeit</td> <td>qgr</td> </tr> <tr> <td>< 60 km/h</td> <td>0,5 g</td> </tr> <tr> <td>60 bis 120 km/h</td> <td>0,3 g</td> </tr> <tr> <td>120 bis 160 km/h</td> <td>0,2 g</td> </tr> <tr> <td>> 160 km/h</td> <td>0,1 g</td> </tr> </table>	Geschwindigkeit	qgr	< 60 km/h	0,5 g	60 bis 120 km/h	0,3 g	120 bis 160 km/h	0,2 g	> 160 km/h	0,1 g
Geschwindigkeit	qgr										
< 60 km/h	0,5 g										
60 bis 120 km/h	0,3 g										
120 bis 160 km/h	0,2 g										
> 160 km/h	0,1 g										
Fehlerstufe	0 wenn $queproz \leq 0 \%$ 1 wenn $(queproz > 0 \%) \ \& \ (queproz \leq 15 \%)$ 2 wenn $(queproz > 15 \%) \ \& \ (queproz \leq 30 \%)$ 3 wenn $queproz > 30 \%$										

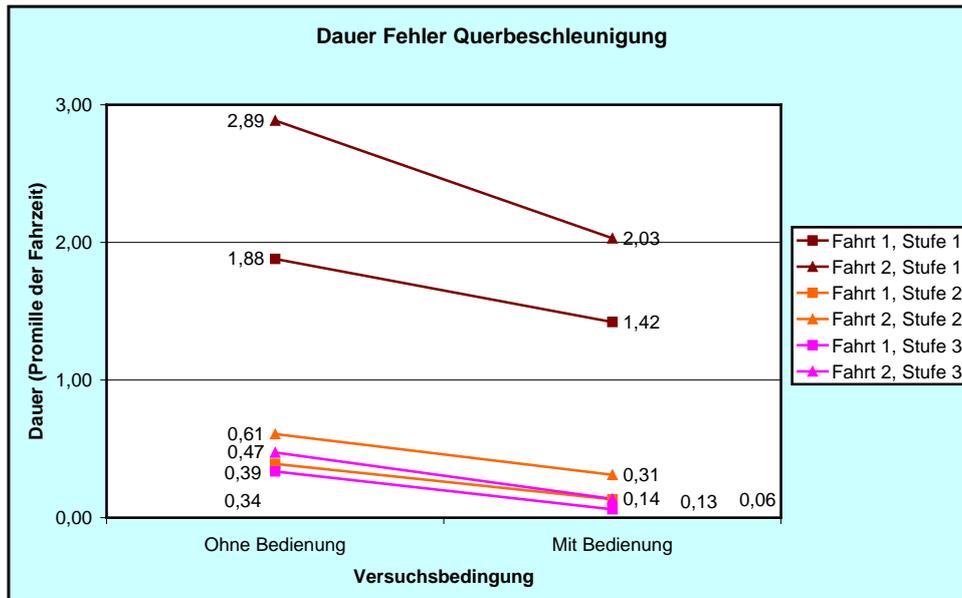


Abbildung 97. Gesamtdauer der Fehler Querbeschleunigung zu hoch, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt, ohne ACC

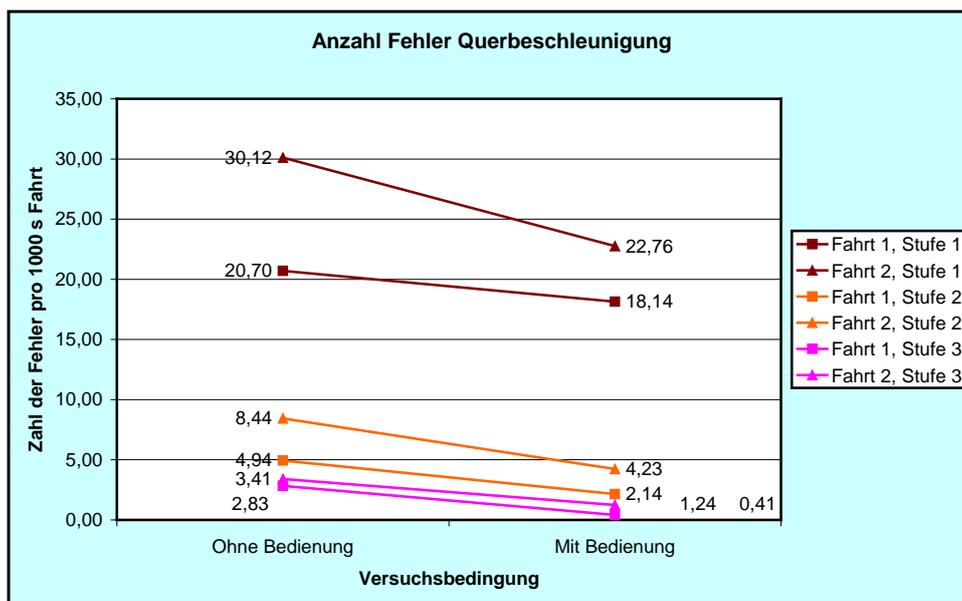


Abbildung 98. Anzahl der Fehler Querbeschleunigung zu hoch, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt, ohne ACC

Interpretation

Sowohl die Dauer der Fehler *Querbeschleunigung zu hoch* als auch die Fehleranzahl weisen auf allen Fehlerstufen eine deutliche, auf dem 1 %-Niveau signifikante Abnahme unter der Bedieninstruktion auf (Abbildung 97 und Abbildung 98). Es zeigt sich wie bei der Reduktion der Fehler in den Längsführungsvariablen eine vorsichtigeren Fahrweise, wenn zusätzlich das Navigationssystem bedient werden muss. Die Effekte sind zudem deutlich höher als im Simulatorversuch und sprechen für ein noch vorsichtigeres Fahren unter den „Ernstbedingungen“ des Straßenversuchs.

Signifikanztests

Querbeschleunigung (q) Relative Fehlerdauer (Promille der gefahrenen Strecke)						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	25,47	1	25,47	18,413	0,0001	0,2410
Error(Bedingung)	80,22	58	1,38			
Fahrt	38,40	1	38,40	8,631	0,0047	0,1295
Error(Fahrt)	258,07	58	4,45			
Bedingung * Fahrt	2,33	1	2,33	1,053	0,3091	0,0178
Error(Bedingung * Fahrt)	128,30	58	2,21			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	4,53	1	4,53	10,193	0,0023	0,1495
Error(Bedingung)	25,77	58	0,44			
Fahrt	2,31	1	2,31	3,745	0,0578	0,0607
Error(Fahrt)	35,74	58	0,62			
Bedingung * Fahrt	0,02	1	0,02	0,064	0,8005	0,0011
Error(Bedingung * Fahrt)	20,12	58	0,35			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	5,55	1	5,55	8,484	0,0051	0,1276
Error(Bedingung)	37,93	58	0,65			
Fahrt	0,67	1	0,67	0,663	0,4190	0,0113
Error(Fahrt)	58,38	58	1,01			
Bedingung * Fahrt	0,06	1	0,06	0,104	0,7484	0,0018
Error(Bedingung * Fahrt)	32,49	58	0,56			
Querbeschleunigung (q) Fehleranzahl (Zahl der Fehler pro 1000 s Fahrt)						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	1452,774	1	1452,774	10,083	0,0024	0,1481
Error(Bedingung)	8356,538	58	144,078			
Fahrt	2907,292	1	2907,292	12,097	0,0010	0,1726
Error(Fahrt)	13938,722	58	240,323			
Bedingung * Fahrt	338,533	1	338,533	1,417	0,2387	0,0239
Error(Bedingung * Fahrt)	13854,694	58	238,874			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	723,550	1	723,550	12,052	0,0010	0,1720
Error(Bedingung)	3482,010	58	60,035			
Fahrt	459,309	1	459,309	3,767	0,0571	0,0610
Error(Fahrt)	7072,591	58	121,941			
Bedingung * Fahrt	29,681	1	29,681	0,586	0,4469	0,0100
Error(Bedingung * Fahrt)	2935,684	58	50,615			

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	310,885	1	310,885	8,369	0,0054	0,1261
Error(Bedingung)	2154,568	58	37,148			
Fahrt	28,766	1	28,766	0,946	0,3347	0,0161
Error(Fahrt)	1762,732	58	30,392			
Bedingung * Fahrt	0,927	1	0,927	0,059	0,8088	0,0010
Error(Bedingung * Fahrt)	909,924	58	15,688			

Vergleich Fahrten ohne und mit ACC

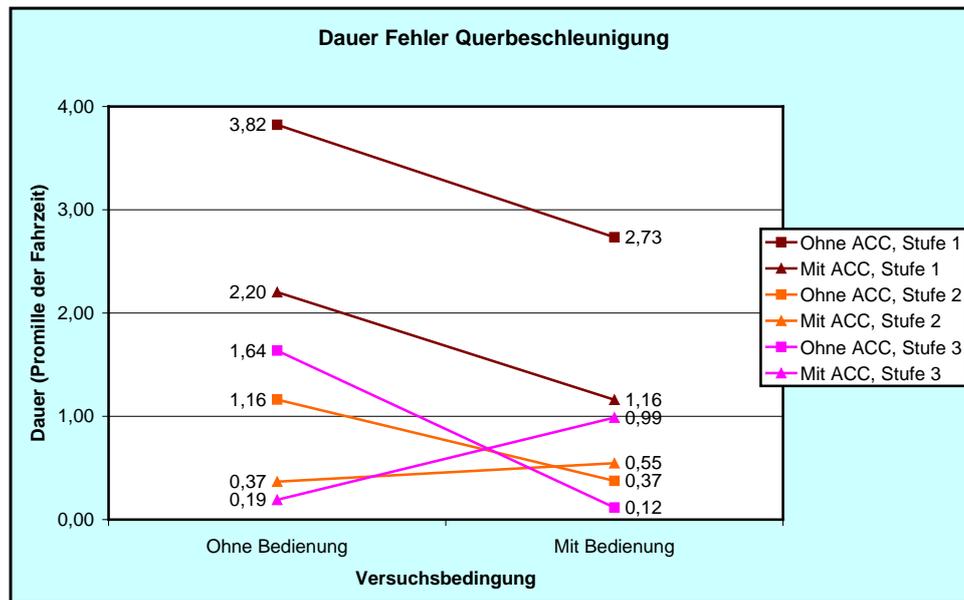


Abbildung 99. Gesamtdauer der Fehler Querbeschleunigung zu hoch, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne und mit ACC

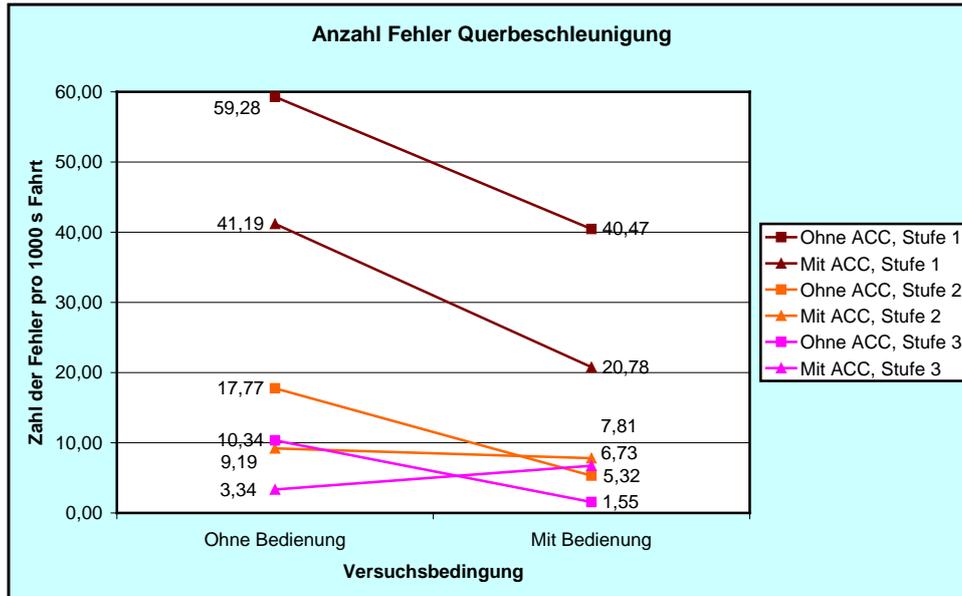


Abbildung 100. Anzahl der Fehler Querbeschleunigung zu hoch, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne und mit ACC

Interpretation

Trotz merklicher Effektgrößen in der Fehlerstufe 1 zeigt die Variable ACC in Abbildung 99 und Abbildung 100 keinen signifikanten Einfluss auf die Fahrfehler der Querbeschleunigung. Nur die Wirkung der Variablen *Bedienung* wird in Fehlerstufe 1 sowohl in der Dauer als auch in der Fehlerzahl auf dem 5 %-Niveau signifikant.

Signifikanztests

Querbeschleunigung (q) Relative Fehlerdauer (Promille der Fahrzeit)						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	17,04	1	17,04	7,497	0,0160	0,3488
Error(Bedingung)	31,82	14	2,27			
ACC	38,27	1	38,27	2,202	0,1600	0,1359
Error(ACC)	243,34	14	17,38			
Bedingung * ACC	0,01	1	0,01	0,003	0,9554	0,0002
Error(Bedingung * ACC)	32,27	14	2,31			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	1,39	1	1,39	1,149	0,3019	0,0759
Error(Bedingung)	16,96	14	1,21			
ACC	1,46	1	1,46	0,337	0,5708	0,0235
Error(ACC)	60,62	14	4,33			
Bedingung * ACC	3,49	1	3,49	3,236	0,0936	0,1877
Error(Bedingung * ACC)	15,10	14	1,08			

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung

Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	1,96	1	1,96	0,888	0,3620	0,0596
Error(Bedingung)	30,87	14	2,21			
ACC	1,23	1	1,23	0,430	0,5227	0,0298
Error(ACC)	40,16	14	2,87			
Bedingung * ACC	20,13	1	20,13	4,482	0,0526	0,2425
Error(Bedingung * ACC)	62,87	14	4,49			
Querbeschleunigung (q) Fehleranzahl (Zahl der Fehler pro 1000 s Fahrt)						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	5766,365	1	5766,365	8,682	0,0106	0,3828
Error(Bedingung)	9298,062	14	664,147			
ACC	5352,588	1	5352,588	2,724	0,1211	0,1629
Error(ACC)	27510,873	14	1965,062			
Bedingung * ACC	9,469	1	9,469	0,009	0,9240	0,0007
Error(Bedingung * ACC)	14055,674	14	1003,977			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	717,647	1	717,647	2,847	0,1137	0,1690
Error(Bedingung)	3528,797	14	252,057			
ACC	138,859	1	138,859	0,124	0,7295	0,0088
Error(ACC)	15625,298	14	1116,093			
Bedingung * ACC	458,988	1	458,988	1,854	0,1948	0,1169
Error(Bedingung * ACC)	3465,832	14	247,559			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	109,653	1	109,653	0,932	0,3507	0,0624
Error(Bedingung)	1647,070	14	117,648			
ACC	12,469	1	12,469	0,053	0,8220	0,0037
Error(ACC)	3321,871	14	237,276			
Bedingung * ACC	555,919	1	555,919	4,465	0,0530	0,2418
Error(Bedingung * ACC)	1743,002	14	124,500			

8.3.9 Bremsreaktion, Kollisionsvermeidung

Nach IVI & TUD (2005, S. A/I-8)

Fahrfehler	Zu späte Bremsreaktion
Situation	Plötzlich bremsendes Vorderfahrzeug Plötzlich auftauchendes Hindernis
Indikatoren/Messvariablen	Reaktionszeit Bremsverzögerung Bremskraft
Technische Anforderungen	Reaktionszeit messen (Genauigkeit +/- 0,1 s) Bremsverzögerung messen (Genauigkeit +/- 5 %) Bremskraft messen (Genauigkeit +/- 5 %)
Existierende Kriterien (Referenz)	Normale Bremsreaktionszeit auf Bremslicht des Vorderfahrzeugs: 1,25 s (Green, 2000) Normale Bremsreaktionszeit auf plötzlich auftauchendem Hindernis: 1,5 s (Green, 2000)
Verfahrenskriterien	Bei bremsendem Vorderfahrzeug: <i>Reaktionszeit RT: Zeit vom Beginn des Aufleuchtens des Bremslichts des Vorderfahrzeugs bis zum Beginn der Reaktion [s]</i> Bei plötzlich auftauchendem Hindernis: <i>Reaktionszeit RT: Zeit vom Auftauchen des Hindernisses bis zum Beginn der Reaktion [s]</i>
Fehlerstufe bei plötzlich bremsendem Vorderfahrzeug	0 wenn $RT \leq 0,8 \text{ s}$ 1 wenn $(RT > 0,8 \text{ s}) \ \& \ (RT \leq 1,25 \text{ s})$ 2 wenn $(RT > 1,25 \text{ s}) \ \& \ (RT \leq 1,8 \text{ s})$ 3 wenn $RT > 1,8 \text{ s}$
Fehlerstufe bei plötzlich auftauchendem Hindernis	0 wenn $RT \leq 1,0 \text{ s}$ 1 wenn $(RT > 1,0 \text{ s}) \ \& \ (RT \leq 1,5 \text{ s})$ 2 wenn $(RT > 1,5 \text{ s}) \ \& \ (RT \leq 2,0 \text{ s})$ 3 wenn $RT > 2,0 \text{ s}$

Ergebnis

Im Straßenversuch nicht ausgewertet.

8.3.10 Bremsverzögerung

In IVI & TUD (2005) nicht enthalten.

Fehlerstufenzuordnung nach Bonsall, P., Liu, R. & Young, W., 2005, S. 429:

Fehlerstufe	0	1	2	3
Betrag Bremsverzögerung (ggf. Vorzeichen richtig verrechnen!)	$< 1,5 \text{ m/s}^2$	$\geq 1,5 \text{ m/s}^2 \ \& \ < 2,5 \text{ m/s}^2$	$\geq 2,5 \text{ m/s}^2 \ \& \ < 3,5 \text{ m/s}^2$	$\geq 3,5 \text{ m/s}^2$

Bonsall et al. (2005, S. 429) geben für normales Bremsen einen Betrag der (beim Bremsen meist mit negativem Vorzeichen versehenen) Längsbeschleunigung von 0,9 bis $1,5 \text{ m/s}^2$ an. Bei einer Notbremsung ergeben sich nach dieser Quelle Werte von $1,5$ bis $2,4 \text{ m/s}^2$. In einer Studie mit ähnlichem Ziel wie hier verwendet Verwey (2001, S. 417) die Werte $2,0 \text{ m/s}^2$ und $3,0 \text{ m/s}^2$ als Fehlergrenzen für hohe Bremsverzögerung. Bei guten Bremsen, trockener und griffiger Straße sowie guten Reifen ist eine maximale Bremsverzögerung zwischen $7,5 \text{ m/s}^2$ und 10 m/s^2 möglich (Robert Bosch GmbH, 2003, S. 423 ff.). Hohe Bremsverzögerungen sind Indikatoren für Bewältigungsversuche von Verkehrskonflikten. Daher schlagen wir die hier angegebene Fehlerstufenzuordnung vor.

Fahrten ohne ACC

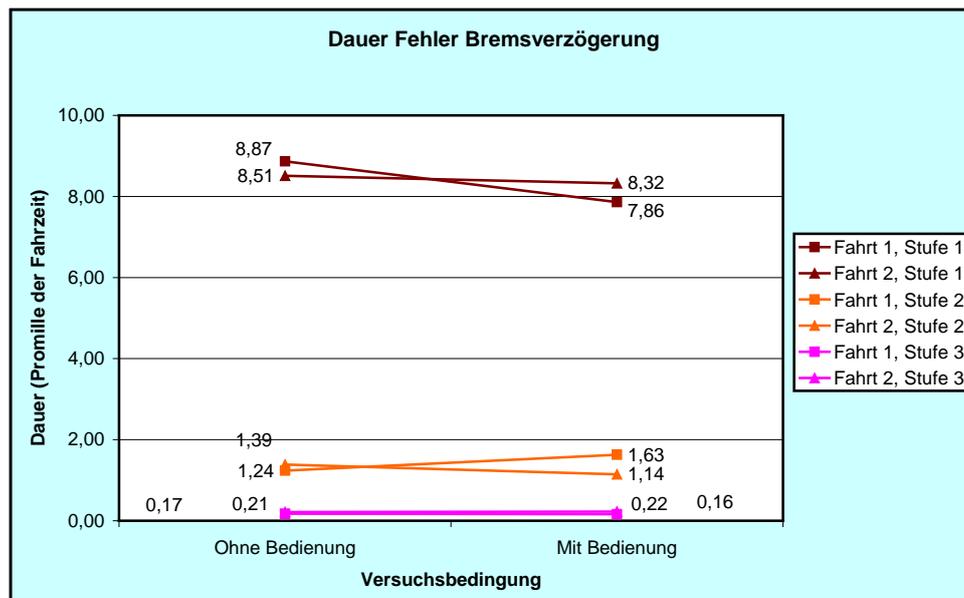


Abbildung 101. Gesamtdauer der Fehler Bremsverzögerung zu hoch, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt, ohne ACC

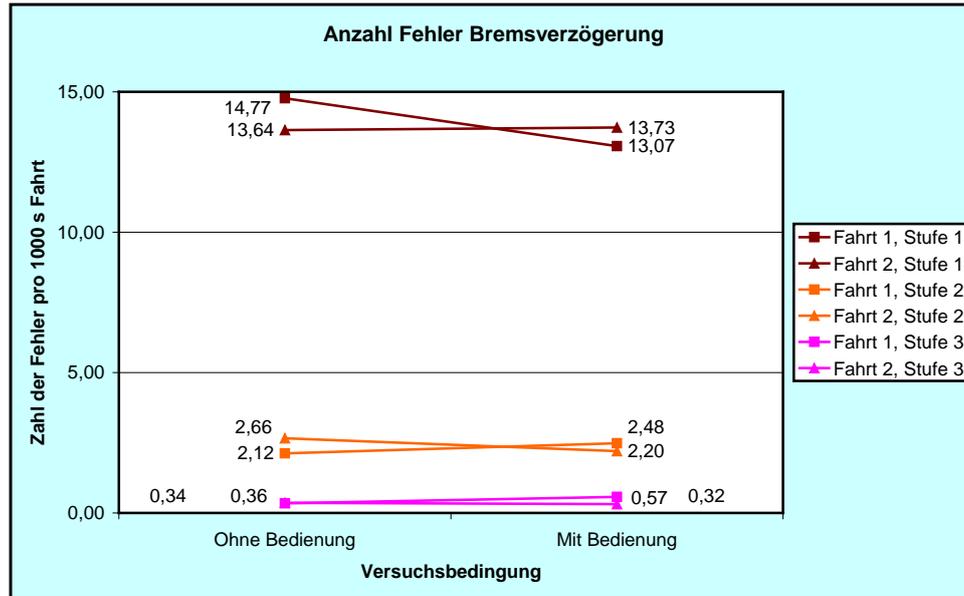


Abbildung 102. Anzahl der Fehler Bremsverzögerung zu hoch, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt, ohne ACC

Interpretation

Die hier vorgeschlagene Variable *Bremsverzögerung* zeigt weder bei der Fehlerdauer noch bei der Fehleranzahl einen signifikanten Effekt für *Bedienung* (Abbildung 101 und Abbildung 102). Die Effektgrößen geben keine Hinweise auf nur wegen der kleinen V_p -Zahl verfehlte Signifikanzschranken. Der Versuch, die Bremsverzögerung als ein Maß für Bewältigungsversuche von Verkehrskonflikten und damit als einen weiteren Indikator für die Fahrsicherheit heranzuziehen, war somit in diesem Straßenversuch nicht erfolgreich.

Signifikanztests

Bremsverzögerung (lb) Relative Fehlerdauer (Promille der gefahrenen Strecke)						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	20,99	1	20,99	3,127	0,0823	0,0512
Error(Bedingung)	389,33	58	6,71			
Fahrt	0,17	1	0,17	0,015	0,9022	0,0003
Error(Fahrt)	636,45	58	10,97			
Bedingung * Fahrt	9,90	1	9,90	0,943	0,3356	0,0160
Error(Bedingung * Fahrt)	609,31	58	10,51			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,32	1	0,32	0,395	0,5321	0,0068
Error(Bedingung)	46,39	58	0,80			
Fahrt	1,60	1	1,60	1,283	0,2621	0,0216
Error(Fahrt)	72,41	58	1,25			
Bedingung * Fahrt	5,93	1	5,93	5,135	0,0272	0,0813
Error(Bedingung * Fahrt)	67,03	58	1,16			

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung

Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,00	1	0,00	0,001	0,9788	0,0000
Error(Bedingung)	11,16	58	0,19			
Fahrt	0,16	1	0,16	1,011	0,3189	0,0171
Error(Fahrt)	9,19	58	0,16			
Bedingung * Fahrt	0,01	1	0,01	0,037	0,8481	0,0006
Error(Bedingung * Fahrt)	11,80	58	0,20			
Bremsverzögerung (lb) Fehleranzahl (Zahl der Fehler pro 1000 s Fahrt)						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	38,313	1	38,313	1,446	0,2341	0,0243
Error(Bedingung)	1536,830	58	26,497			
Fahrt	3,189	1	3,189	0,077	0,7824	0,0013
Error(Fahrt)	2403,420	58	41,438			
Bedingung * Fahrt	47,463	1	47,463	1,138	0,2904	0,0192
Error(Bedingung * Fahrt)	2418,424	58	41,697			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,127	1	0,127	0,034	0,8552	0,0006
Error(Bedingung)	218,939	58	3,775			
Fahrt	0,960	1	0,960	0,306	0,5825	0,0052
Error(Fahrt)	182,212	58	3,142			
Bedingung * Fahrt	9,963	1	9,963	2,536	0,1167	0,0419
Error(Bedingung * Fahrt)	227,828	58	3,928			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,485	1	0,485	0,697	0,4073	0,0119
Error(Bedingung)	40,367	58	0,696			
Fahrt	0,810	1	0,810	1,372	0,2462	0,0231
Error(Fahrt)	34,235	58	0,590			
Bedingung * Fahrt	1,121	1	1,121	1,837	0,1806	0,0307
Error(Bedingung * Fahrt)	35,414	58	0,611			

Vergleich Fahrten ohne und mit ACC

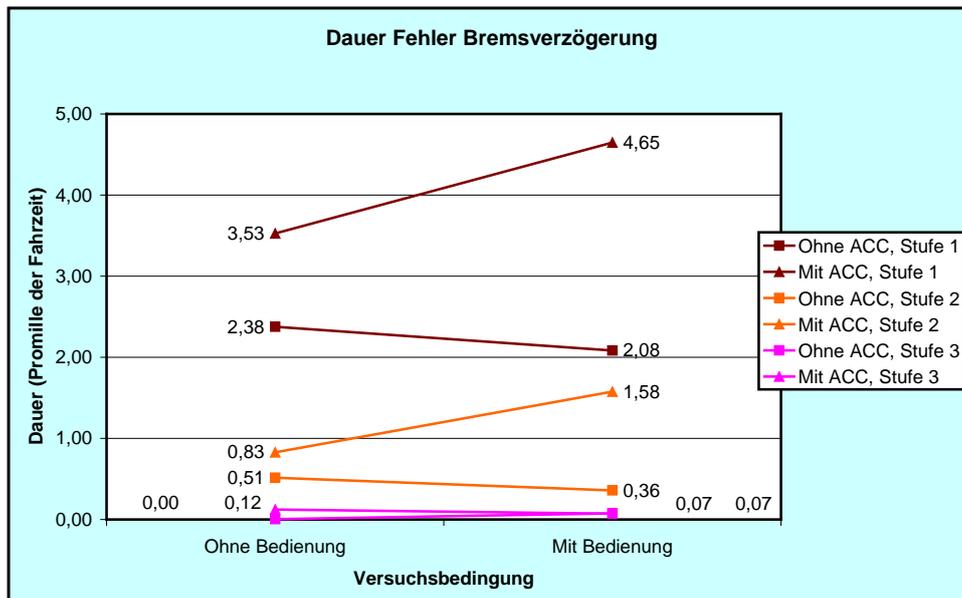


Abbildung 103. Gesamtdauer der Fehler Bremsverzögerung zu hoch, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne und mit ACC

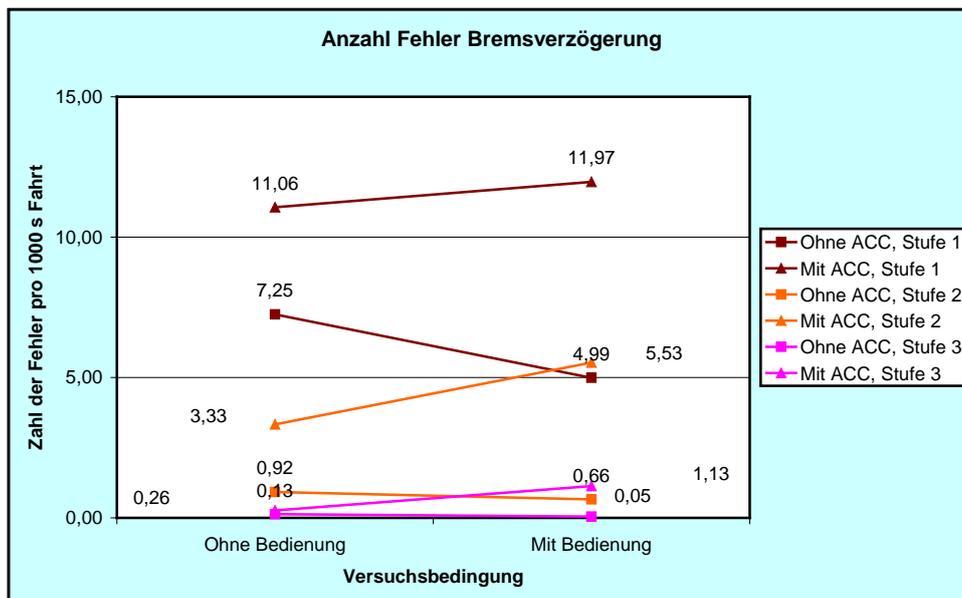


Abbildung 104. Anzahl der Fehler Bremsverzögerung zu hoch, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne und mit ACC

Interpretation

Beim Vergleich der Fahrten *ohne* und *mit* ACC zeigen sich auf den Fehlerstufen 1 und 2 drei signifikante Haupteffekte und eine knapp verfehlt Signifikanz, hingegen wiederum kein signifikanter Effekt der Bedienung und keine signifikante Wechselwirkung (Abbildung 103 und Abbildung 104). Die Erhöhung der Fehlerdauer und -anzahl bei der Fahrt *mit* ACC im Vergleich zur Fahrt *ohne* ACC ist erklärungsbedürftig. Sie könnte daher rühren, dass die ACC-Regelung mit der gewählten Einstellung eines Sollabstandes von 1,7 s und der hohen Motorleistung des Versuchs-

fahrzeugs schon für das subjektive Empfinden der Vpn sehr scharf an vorausfahrende, langsamere Fahrzeuge heranfuhr. Das könnte mehr und stärkere Bremsreaktionen ausgelöst haben.

Signifikanztests

Bremsverzögerung (lb) Relative Fehlerdauer (Promille der Fahrzeit)						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	2,58	1	2,58	0,703	0,4158	0,0478
Error(Bedingung)	51,34	14	3,67			
ACC	51,75	1	51,75	7,054	0,0188	0,3350
Error(ACC)	102,71	14	7,34			
Bedingung * ACC	7,48	1	7,48	1,599	0,2267	0,1025
Error(Bedingung * ACC)	65,53	14	4,68			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	1,32	1	1,32	1,032	0,3270	0,0686
Error(Bedingung)	17,93	14	1,28			
ACC	8,81	1	8,81	4,497	0,0523	0,2431
Error(ACC)	27,43	14	1,96			
Bedingung * ACC	3,07	1	3,07	1,455	0,2477	0,0941
Error(Bedingung * ACC)	29,50	14	2,11			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,00	1	0,00	0,017	0,8967	0,0012
Error(Bedingung)	1,21	14	0,09			
ACC	0,05	1	0,05	0,608	0,4487	0,0416
Error(ACC)	1,16	14	0,08			
Bedingung * ACC	0,06	1	0,06	0,665	0,4283	0,0454
Error(Bedingung * ACC)	1,16	14	0,08			
Bremsverzögerung (lb) Fehleranzahl (Zahl der Fehler pro 1000 s Fahrt)						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	6,893	1	6,893	0,240	0,6317	0,0169
Error(Bedingung)	401,932	14	28,709			
ACC	437,053	1	437,053	11,258	0,0047	0,4457
Error(ACC)	543,477	14	38,820			
Bedingung * ACC	37,451	1	37,451	1,233	0,2856	0,0809
Error(Bedingung * ACC)	425,376	14	30,384			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	14,118	1	14,118	1,538	0,2352	0,0990
Error(Bedingung)	128,480	14	9,177			
ACC	198,782	1	198,782	15,960	0,0013	0,5327
Error(ACC)	174,372	14	12,455			
Bedingung * ACC	22,900	1	22,900	1,439	0,2503	0,0932
Error(Bedingung * ACC)	222,856	14	15,918			

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fehlerstufe 3						
Bedingung	2,322	1	2,322	0,915	0,3551	0,0613
Error(Bedingung)	35,540	14	2,539			
ACC	5,535	1	5,535	2,397	0,1439	0,1462
Error(ACC)	32,327	14	2,309			
Bedingung * ACC	3,432	1	3,432	1,293	0,2747	0,0845
Error(Bedingung * ACC)	37,173	14	2,655			

8.3.11 Hohe Fahrbeschleunigung

In IVI & TUD (2005) nicht enthalten

Fehlerstufenzuordnung nach Bonsall, P., Liu, R. & Young, W., 2005, S. 429:

Fehlerstufe	0	1	2	3
Fahrbeschleunigung	$< 1,5 \text{ m/s}^2$	$\geq 1,5 \text{ m/s}^2 \ \& \ < 2,5 \text{ m/s}^2$	$\geq 2,5 \text{ m/s}^2 \ \& \ < 3,5 \text{ m/s}^2$	$\geq 3,5 \text{ m/s}^2$

Bonsall et al. (1005, S. 429) geben für die normale Fahrbeschleunigung abhängig vom Pkw-Typ Werte von 0,9 bis $1,5 \text{ m/s}^2$ an, für die maximale Fahrbeschleunigung $1,5$ bis $3,6 \text{ m/s}^2$. Sehr hohe Werte der Fahrbeschleunigung zeigen eine unruhige, unausgeglichene bis tendenziell aggressive Fahrweise an, die die Unfallwahrscheinlichkeit erhöht. Wir nehmen daher die Fahrbeschleunigung mit den Grenzwerten der Tabelle in die Fahrfehlerberechnung auf.

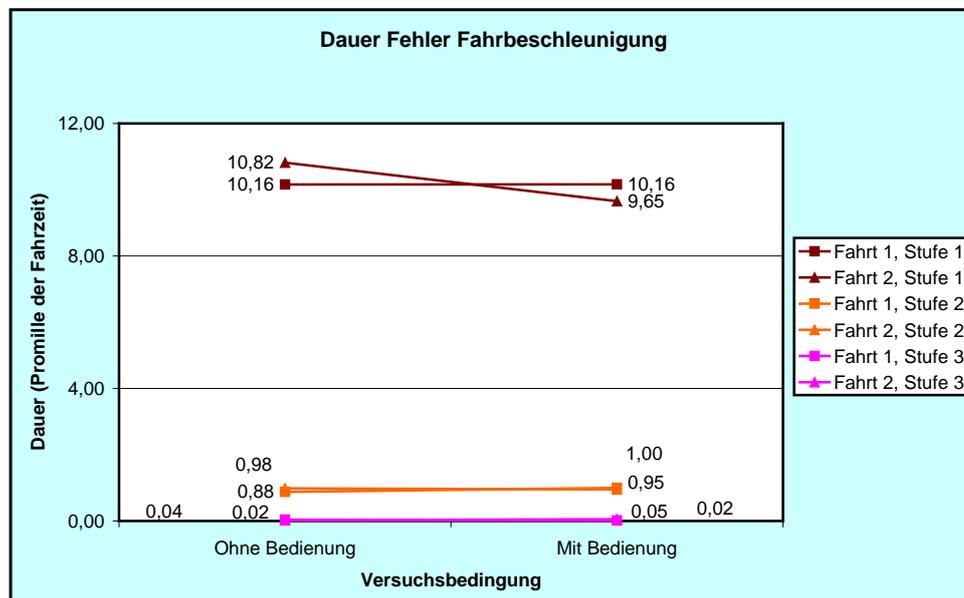


Abbildung 105. Gesamtdauer der Fehler hohe Fahrbeschleunigung, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt, ohne ACC

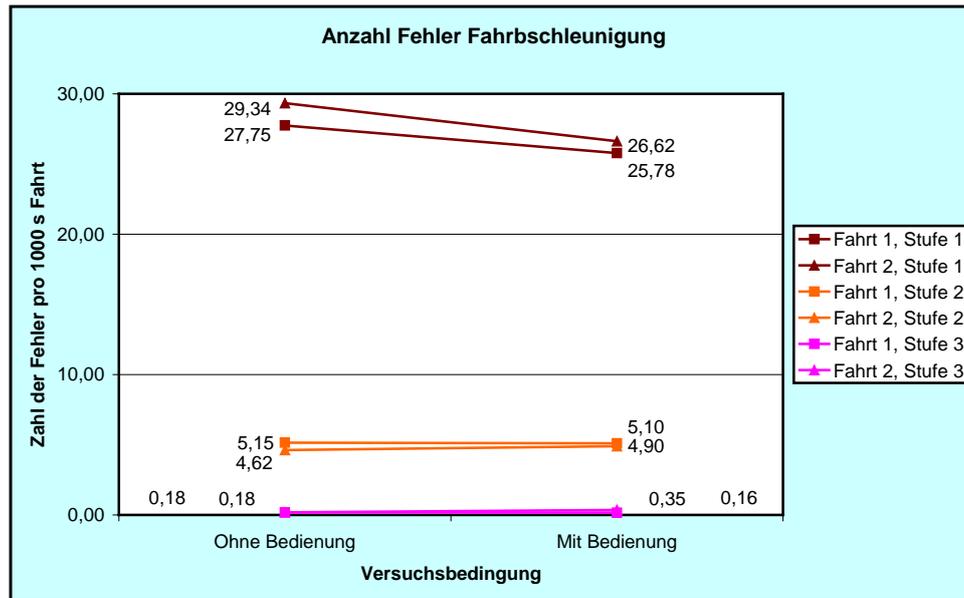


Abbildung 106. Anzahl der Fehler hohe Fahrbeschleunigung, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt, ohne ACC

Interpretation

Die ebenfalls neu hinzugenommene Variable *Fahrbeschleunigung* zeigt nur eine signifikante Wirkung mit geringer Effektgröße im Straßenversuch (Abbildung 105 und Abbildung 106). Es bleibt zu untersuchen, ob dies ein stabiles Ergebnis darstellt, das bei weiteren Anwendungen des Verfahrens repliziert werden kann, oder ob sich eine zu hohe Fahrbeschleunigung unter anderen Versuchsbedingungen möglicherweise als ein Maß für eine unsichere Fahrweise verwenden lässt.

Signifikanztests

Fahrbeschleunigung (Iv) Relative Fehlerdauer (Promille der gefahrenen Strecke)						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	19,96	1	19,96	2,752	0,1025	0,0453
Error(Bedingung)	420,73	58	7,25			
Fahrt	0,33	1	0,33	0,021	0,8845	0,0004
Error(Fahrt)	896,81	58	15,46			
Bedingung * Fahrt	20,12	1	20,12	1,072	0,3048	0,0181
Error(Bedingung * Fahrt)	1088,42	58	18,77			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,12	1	0,12	0,170	0,6813	0,0029
Error(Bedingung)	40,93	58	0,71			
Fahrt	0,05	1	0,05	0,102	0,7502	0,0018
Error(Fahrt)	25,78	58	0,44			
Bedingung * Fahrt	0,34	1	0,34	0,528	0,4704	0,0090
Error(Bedingung * Fahrt)	37,44	58	0,65			

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung

Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,00	1	0,00	0,093	0,7611	0,0016
Error(Bedingung)	0,56	58	0,01			
Fahrt	0,01	1	0,01	0,553	0,4603	0,0094
Error(Fahrt)	0,53	58	0,01			
Bedingung * Fahrt	0,05	1	0,05	2,747	0,1028	0,0452
Error(Bedingung * Fahrt)	0,96	58	0,02			
Fahrbeschleunigung (Iv) Fehleranzahl (Zahl der Fehler pro 1000 s Fahrt)						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	323,012	1	323,012	5,900	0,0183	0,0923
Error(Bedingung)	3175,221	58	54,745			
Fahrt	87,225	1	87,225	0,869	0,3551	0,0148
Error(Fahrt)	5821,618	58	100,373			
Bedingung * Fahrt	8,231	1	8,231	0,030	0,8636	0,0005
Error(Bedingung * Fahrt)	16037,481	58	276,508			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,774	1	0,774	0,058	0,8110	0,0010
Error(Bedingung)	778,133	58	13,416			
Fahrt	7,815	1	7,815	0,605	0,4397	0,0103
Error(Fahrt)	748,772	58	12,910			
Bedingung * Fahrt	1,477	1	1,477	0,077	0,7820	0,0013
Error(Bedingung * Fahrt)	1108,445	58	19,111			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,343	1	0,343	1,121	0,2942	0,0190
Error(Bedingung)	17,771	58	0,306			
Fahrt	0,560	1	0,560	1,704	0,1970	0,0285
Error(Fahrt)	19,074	58	0,329			
Bedingung * Fahrt	0,520	1	0,520	1,357	0,2488	0,0229
Error(Bedingung * Fahrt)	22,233	58	0,383			

Vergleich Fahrten ohne und mit ACC

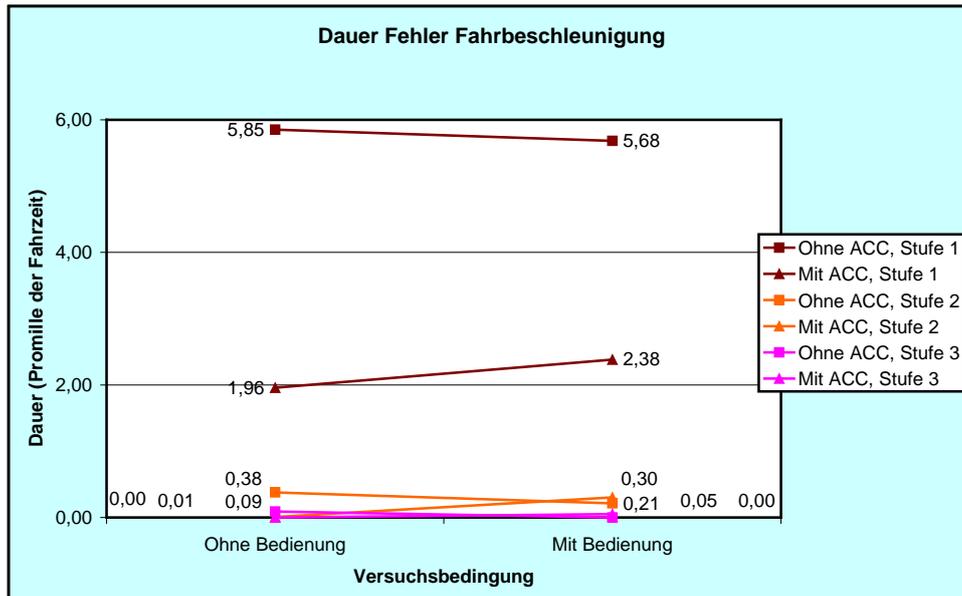


Abbildung 107. Gesamtdauer der Fehler hohe Fahrbeschleunigung, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne und mit ACC

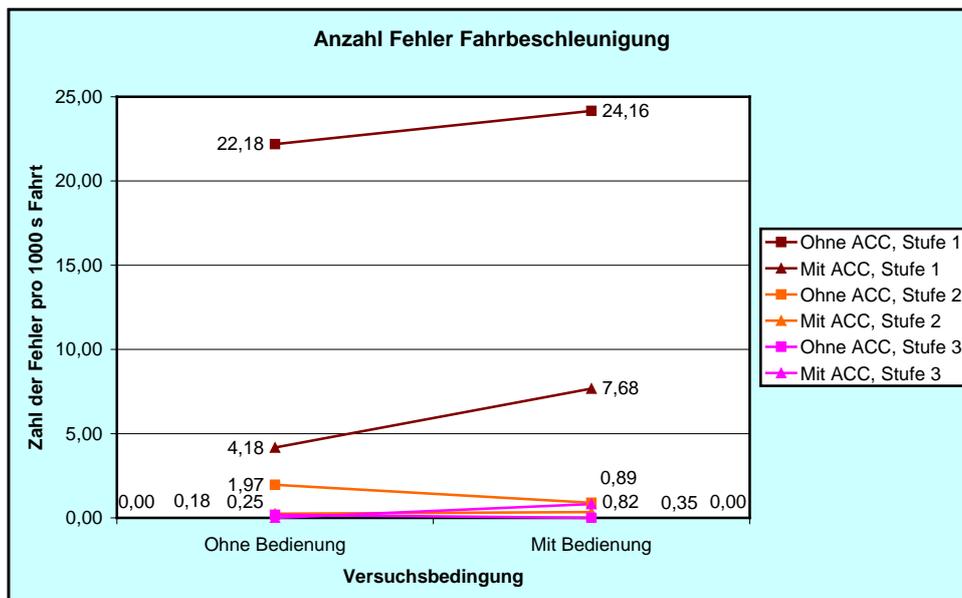


Abbildung 108. Anzahl der Fehler hohe Fahrbeschleunigung, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne und mit ACC

Interpretation

Beim Fahren *mit ACC* sind sowohl Fehlerdauer als auch Fehleranzahl der Fehlerstufe 1 für *Fahrbeschleunigung* hoch signifikant gegenüber dem Fahren *ohne ACC* verringert (in beiden Fällen $p < 0,01$). Offensichtlich haben die V_{pn} bei der Fahrt *ohne ACC* auf den autobahnartigen Strecken die hohe Beschleunigungsleistung des Versuchsfahrzeugs auch ausgefahren, die die ACC-Regelung zur zum Teil ausnutzt (Abbildung 107 und Abbildung 108). Das ACC führt also zu einer deutlichen Beruhigung der Fahrweise.

Signifikanztests

Fahrbeschleunigung (Iv) Relative Fehlerdauer (Promille der Fahrzeit)						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,24	1	0,24	0,024	0,8794	0,0017
Error(Bedingung)	139,26	14	9,95			
ACC	194,13	1	194,13	37,216	0,0000	0,7266
Error(ACC)	73,03	14	5,22			
Bedingung * ACC	1,33	1	1,33	0,191	0,6684	0,0135
Error(Bedingung * ACC)	97,08	14	6,93			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,06	1	0,06	0,114	0,7403	0,0081
Error(Bedingung)	7,63	14	0,55			
ACC	0,29	1	0,29	0,527	0,4799	0,0363
Error(ACC)	7,81	14	0,56			
Bedingung * ACC	0,79	1	0,79	4,016	0,0648	0,2229
Error(Bedingung * ACC)	2,75	14	0,20			
Fehlerstufe 3						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,01	1	0,01	0,136	0,7180	0,0096
Error(Bedingung)	0,60	14	0,04			
ACC	0,01	1	0,01	0,136	0,7180	0,0096
Error(ACC)	0,60	14	0,04			
Bedingung * ACC	0,08	1	0,08	1,977	0,1815	0,1237
Error(Bedingung * ACC)	0,53	14	0,04			
Fahrbeschleunigung (Iv) Fehleranzahl (Zahl der Fehler pro 1000 s Fahrt)						
Fehlerstufe 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	112,492	1	112,492	1,248	0,2828	0,0818
Error(Bedingung)	1262,142	14	90,153			
ACC	4461,737	1	4461,737	86,898	0,0000	0,8612
Error(ACC)	718,822	14	51,344			
Bedingung * ACC	8,697	1	8,697	0,094	0,7642	0,0066
Error(Bedingung * ACC)	1301,402	14	92,957			
Fehlerstufe 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	3,564	1	3,564	0,649	0,4339	0,0443
Error(Bedingung)	76,867	14	5,490			
ACC	19,247	1	19,247	2,714	0,1217	0,1624
Error(ACC)	99,272	14	7,091			
Bedingung * ACC	5,133	1	5,133	0,986	0,3375	0,0658
Error(Bedingung * ACC)	72,861	14	5,204			

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Fehlerstufe 3						
Bedingung	1,549	1	1,549	0,568	0,4637	0,0390
Error(Bedingung)	38,214	14	2,730			
ACC	1,549	1	1,549	0,568	0,4637	0,0390
Error(ACC)	38,214	14	2,730			
Bedingung * ACC	3,753	1	3,753	1,459	0,2471	0,0944
Error(Bedingung * ACC)	36,010	14	2,572			

8.3.12 Bedienung Gaspedal

Die Bedienung des Gaspedals ist ein kontinuierlicher sensumotorischer Regelvorgang wie die Bedienung des Lenkrades. Häufige und starke Ausschläge zeigen eine unruhige und wenig antizipierende Fahrweise an, die mit der Unfallwahrscheinlichkeit positiv korrelieren könnte. Deshalb werden hier einige auch schon bei den Lenkbewegungen verwendete Maße berechnet, um ihre Korrelation mit anderen Fehlermaßen zu explorieren. Fehlerstufen werden noch nicht vorgeschlagen.

Fahrten ohne ACC

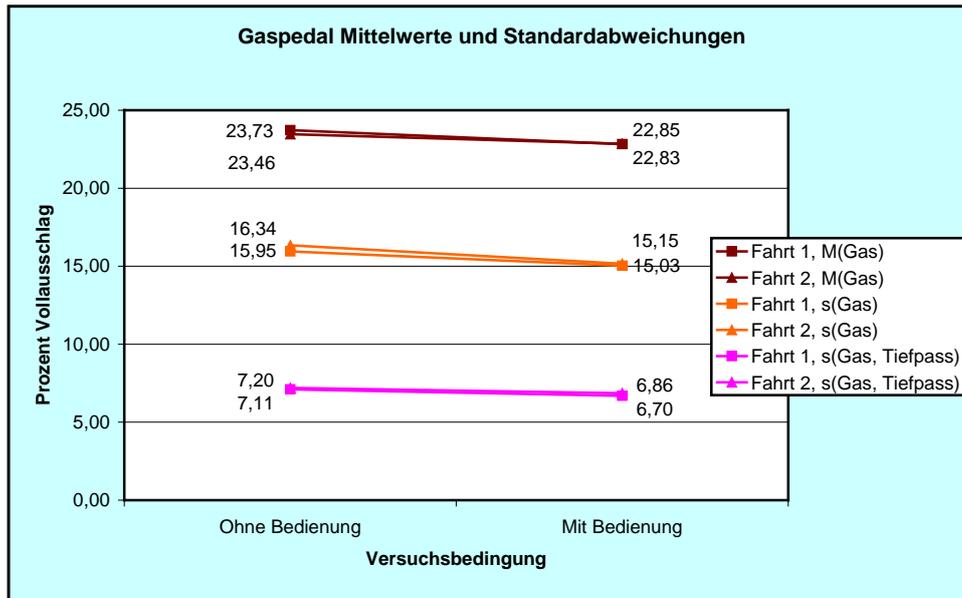


Abbildung 109. Mittelwerte und Standardabweichungen der Stellung des Gaspedals (Ruhestellung = 0, Vollausschlag = 100), Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt, ohne ACC

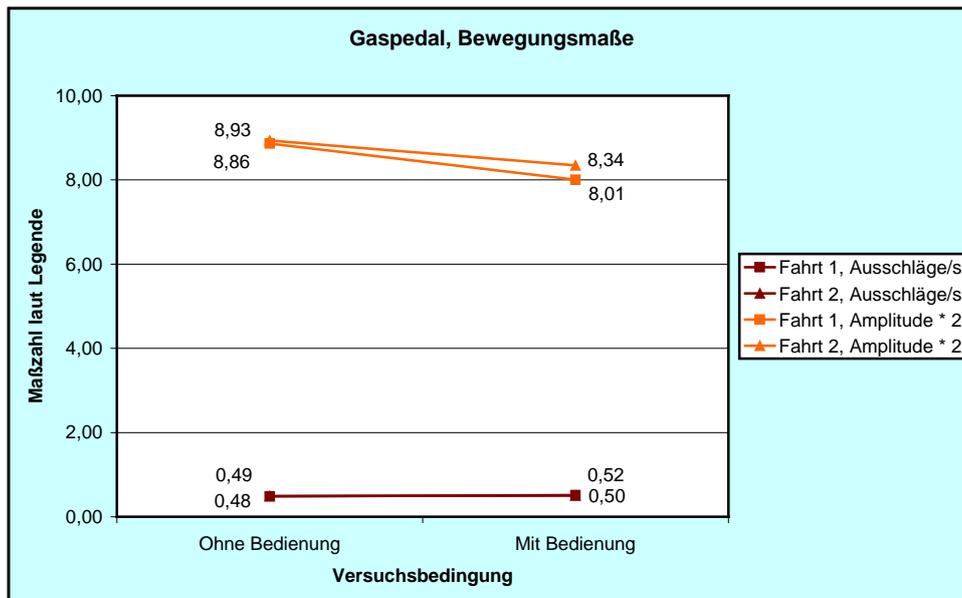


Abbildung 110. Zahl der Ausschläge pro Sekunde und doppelte Amplitude der Ausschläge des Gaspedals, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt, ohne ACC

Interpretation

Alle in Analogie zu den Lenkbewegungen berechneten Maße für die Variable *Bedienung des Gaspedals* zeigen signifikante Veränderungen unter der Bedieninstruktion (Abbildung 109 und Abbildung 110). Die Maße für Zentraltendenz und Dispersion sowie die doppelte Amplitude der Ausschläge sinken in der Versuchsbedingung *mit Bedienung* des Navigationssystems ab, was mit der langsameren Fahrt gleichsinnig korreliert. Die Zahl der Ausschläge pro Sekunde hingegen steigt, ebenso wie die Zahl der Lenkausschläge. Das könnte ein weiteres Maß für die mentale Beanspruchung des Fahrers sein. Die *Bedienung des Gaspedals* ist somit eine weitere, relativ gut auf die Veränderung der Fahrweise ansprechende Variable, deren Verwendbarkeit für die Untersuchung der Fahrsicherheit in zukünftigen Anwendungen des Verfahrens weiterverfolgt werden sollte.

Signifikanztests

Stellung Gaspedal Mittelwert						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	Fortsetzung	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	33,39	1	33,39	52,724	0,0000	0,4762
Error(Bedingung)	36,73	58	0,63			
Fahrt	0,89	1	0,89	0,942	0,3357	0,0160
Error(Fahrt)	55,06	58	0,95			
Bedingung * Fahrt	1,21	1	1,21	0,156	0,6947	0,0027
Error(Bedingung * Fahrt)	452,79	58	7,81			
Stellung Gaspedal Standardabweichung						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	Fortsetzung	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	64,84	1	64,84	137,490	0,0000	0,7033
Error(Bedingung)	27,35	58	0,47			
Fahrt	3,81	1	3,81	1,973	0,1654	0,0329
Error(Fahrt)	112,09	58	1,93			
Bedingung * Fahrt	1,06	1	1,06	0,605	0,4398	0,0103
Error(Bedingung * Fahrt)	101,37	58	1,75			
Gaspedal Standardabweichung gegen tiefpassgefilterte Stellung						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	Fortsetzung	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	8,41	1	8,41	26,524	0,0000	0,3138
Error(Bedingung)	18,40	58	0,32			
Fahrt	0,97	1	0,97	1,315	0,2562	0,0222
Error(Fahrt)	42,62	58	0,73			
Bedingung * Fahrt	0,06	1	0,06	0,161	0,6899	0,0028
Error(Bedingung * Fahrt)	23,01	58	0,40			

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung

Gaspedal, Zahl der Ausschläge pro Sekunde						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	Fortsetzung	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,028	1	0,028	18,571	0,0001	0,2425
Error(Bedingung)	0,088	58	0,002			
Fahrt	0,001	1	0,001	0,463	0,4991	0,0079
Error(Fahrt)	0,110	58	0,002			
Bedingung * Fahrt	0,007	1	0,007	5,560	0,0218	0,0875
Error(Bedingung * Fahrt)	0,069	58	0,001			
Gaspedal, durchschnittlicher Abstand der Ausschläge (doppelte Amplitude)						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	31,012	1	31,012	32,450	0,0000	0,3588
Error(Bedingung)	55,429	58	0,956			
Fahrt	2,439	1	2,439	1,804	0,1845	0,0302
Error(Fahrt)	78,413	58	1,352			
Bedingung * Fahrt	1,048	1	1,048	2,248	0,1392	0,0373
Error(Bedingung * Fahrt)	27,055	58	0,466			

Ein Vergleich der Fahrten ohne und mit ACC ist bei der Gashebelbedienung nicht sinnvoll, da die Fahrt bei regelndem ACC immer mit der Gaspedalstellung 0 einhergeht.

8.3.13 Ampelsignal missachten

Nach IVI & TUD (2005, S. A/I-16)

Fahrfehler	Rotes/gelbes Ampelsignal missachten
Situation	Annäherung an Kreuzung Rotes Ampelsignal
Indikatoren/Messvariablen	Ampelsignalzustand (rot) Dauer des Gelb- bzw. Rotsignals beim Einfahren
Technische Anforderungen	Ampelschaltzeitpunkte und Signalzustände erfassen Einfahrzeitpunkt relativ zu Ampelschaltpunkten erfassen
Existierende Kriterien (Referenz)	Vorschrift für regelgerechtes Verhalten (STVO § 37; Bußgeldkatalog)
Verfahrenskriterium	<i>Einfahrzeitpunkt relativ zum Beginn der Gelb- bzw. Rotphase</i>
Fehlerstufe	0 wenn Einfahrzeitpunkt vor Umschaltung auf Rotphase 1 wenn (Rotphase seit 0 s) & (Rotphase seit $\leq 0,5$ s) 2 wenn (Rotphase seit $> 0,5$ s) & (Rotphase seit $\leq 1,0$ s) 3 wenn Rotphase seit $> 1,0$ s

Anmerkung

Die in der Originaltabelle vorgesehene Zuweisung der Fehlerstufe 1 bei Gelbphase $> 0,5$ s haben wir getilgt. Bei 50 km/h würde einem Fahrer ein Fahrfehler der Stufe 1 gegeben, wenn er bei einem Abstand von knapp über 6,9 m vor der Ampel beim Umschalten auf Gelb nicht mehr bremst. Es wäre aber zu diskutieren, den Fahrfehler der Stufe 1 bereits zu vergeben, wenn der Einfahrzeitpunkt weniger als 0,5 s vor dem Ende der Gelbphase liegt.

Ergebnis

Dieser Fahrfehler wurde im Straßenversuch nicht automatisch registriert, ist jedoch in der Kategorie *Fehler beim Kreuzen/Abbiegen* der Fahrfehlerliste der Fahrlehrerin enthalten (s. Tabelle 24).

8.3.14 Lenkbewegungen

Wie weiter oben in Abschnitt 4.3.3 begründet, verzichten wir auf die Berechnung der Lenkentropie H nach Nakayama et al. (1999). Wie dort ebenfalls ausgeführt, verwenden wir das Verfahren aber bis zur Bestimmung der von uns so genannten Nakayama-Verteilungen. Den Zeitabstand zwischen den benachbarten Messpunkten für dieses Vorgehen wählen wir wie die Bearbeiter des Vorgängerprojektes auf 180 ms, also 9 Zeitschritte in der Zeitpunkte- x Variablen-Matrix. Wir fügen der Auswertung noch zwei Maße hinzu, deren Bedeutung wir durch den Vergleich mit den Zahlenwerten aus dem Nakayama-Verfahren evaluieren: die Zahl der Lenkausschläge, also der Umkehrpunkte der Drehrichtung des Lenkrades, pro Sekunde und deren doppelte Amplitude, also den durchschnittlichen Abstand zwischen den Maxima und Minima der Lenkbewegungen (engl. *peak to peak*).

Fahrten ohne ACC

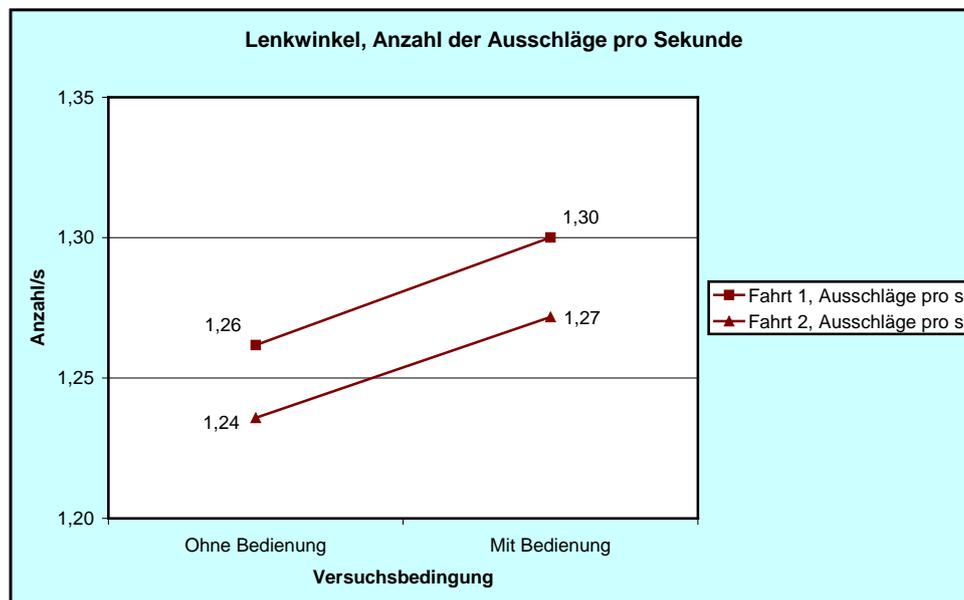


Abbildung 111. Lenkwinkel, Zahl der Lenkausschläge pro Sekunde, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt, ohne ACC

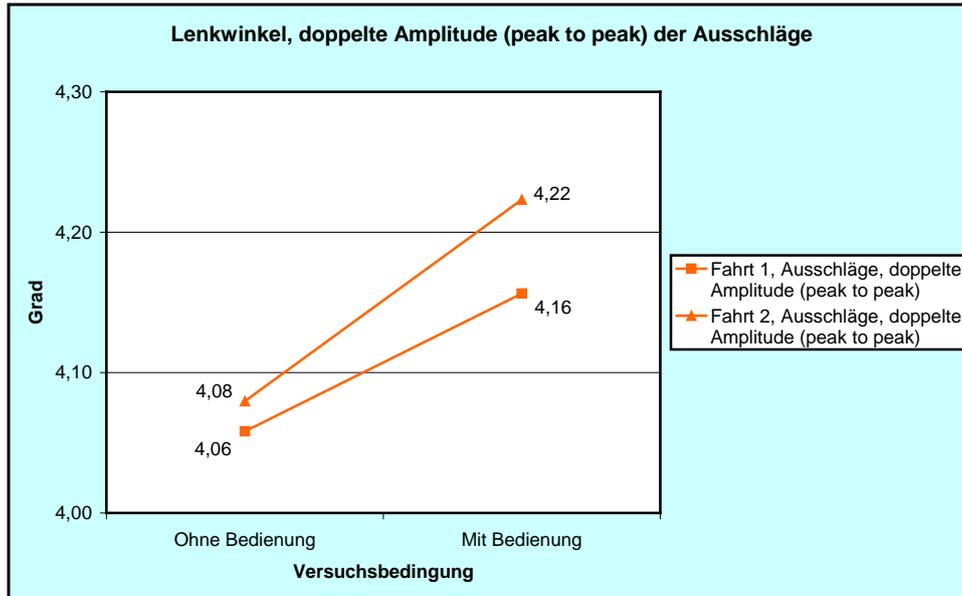


Abbildung 112. Lenkwinkel, doppelte Amplitude (peak to peak) der Lenkausschläge, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt, ohne ACC

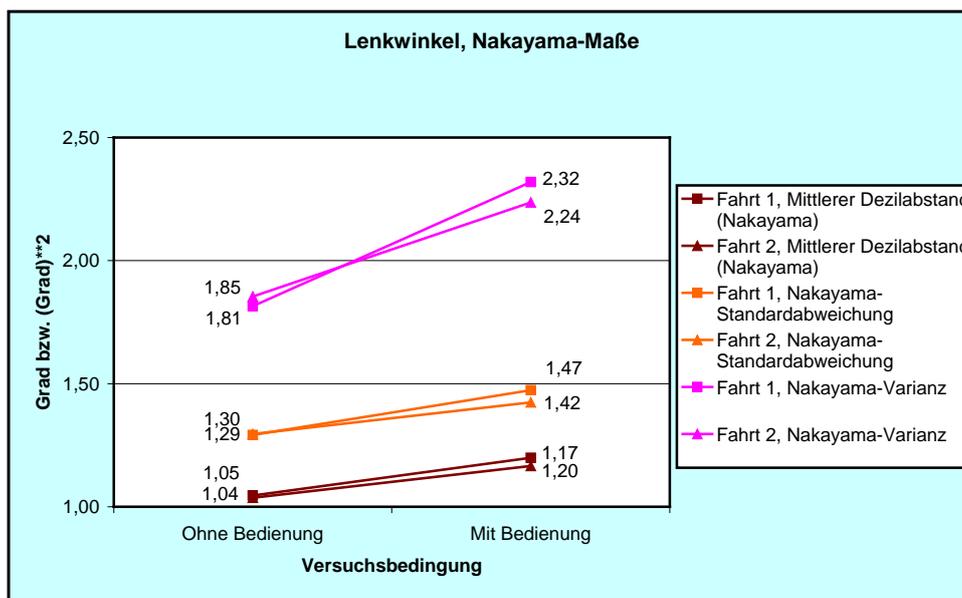


Abbildung 113. Mittlerer Dezilabstand, Standardabweichung und Varianz der Nakayama-Verteilungen des Lenkwinkels, Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt, ohne ACC

Interpretation

Von den fünf wie im Simulatorversuch zur Charakterisierung der Lenkbewegungen berechneten Maßen (Abbildung 111 bis Abbildung 113) zeigen vier eine hoch signifikante Zunahme unter der Bedieninstruktion (in allen Fällen $p < 0,01$). Die Ergebnisse stimmen damit, auch hinsichtlich der Effektgrößen, sehr gut mit denen des Simulatorversuchs überein. Eine Ausnahme bildet die doppelte Amplitude der Ausschläge, die diesmal nicht die Signifikanzgrenze erreichte. Als wahrscheinlichste Erklärung dafür bietet sich an, dass das Lenkwinkelsignal einen Median der Auflösung von 0,8 Grad hatte. Das ist wesentlich weniger, als übliche Lenkwinkelsensoren liefern

(BOSCH LWS 3: 0,1 Grad) und deutet auf eine stark vergrößernde Übertragung im CAN-Bus oder bei der Verrechnung im Fahrdatenrechner hin. Die technische Ursache des Problems konnten wir im Rahmen dieses Projektes nicht aufklären.

Signifikanztests

Lenkbewegung Ausschläge pro Sekunde						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,08	1	0,08	18,785	0,0001	0,2446
Error(Bedingung)	0,25	58	0,00			
Fahrt	0,04	1	0,04	8,548	0,0049	0,1284
Error(Fahrt)	0,29	58	0,01			
Bedingung * Fahrt	0,00	1	0,00	0,018	0,8949	0,0003
Error(Bedingung * Fahrt)	0,28	58	0,00			
Lenkbewegung Ausschläge doppelte Amplitude						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,86	1	0,86	3,944	0,0518	0,0637
Error(Bedingung)	12,68	58	0,22			
Fahrt	0,12	1	0,12	0,370	0,5452	0,0063
Error(Fahrt)	18,05	58	0,31			
Bedingung * Fahrt	0,03	1	0,03	0,037	0,8474	0,0006
Error(Bedingung * Fahrt)	47,51	58	0,82			
Lenkbewegung, Mittlerer Dezilabstand (Nakayama)						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	1,180	1	1,180	157,125	0,0000	0,7304
Error(Bedingung)	0,435	58	0,008			
Fahrt	0,026	1	0,026	2,654	0,1087	0,0438
Error(Fahrt)	0,558	58	0,010			
Bedingung * Fahrt	0,009	1	0,009	1,454	0,2327	0,0245
Error(Bedingung * Fahrt)	0,357	58	0,006			
Lenkbewegung, Nakayama-Standardabweichung						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	1,421	1	1,421	72,416	0,0000	0,5553
Error(Bedingung)	1,138	58	0,020			
Fahrt	0,031	1	0,031	1,080	0,3029	0,0183
Error(Fahrt)	1,651	58	0,028			
Bedingung * Fahrt	0,043	1	0,043	1,484	0,2281	0,0249
Error(Bedingung * Fahrt)	1,664	58	0,029			
Lenkbewegung Nakayama-Varianz						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	11,60	1	11,60	50,694	0,0000	0,4664
Error(Bedingung)	13,27	58	0,23			
Fahrt	0,03	1	0,03	0,090	0,7652	0,0015
Error(Fahrt)	18,16	58	0,31			
Bedingung * Fahrt	0,22	1	0,22	0,906	0,3450	0,0154
Error(Bedingung * Fahrt)	14,14	58	0,24			

Vergleich Fahrten ohne und mit ACC

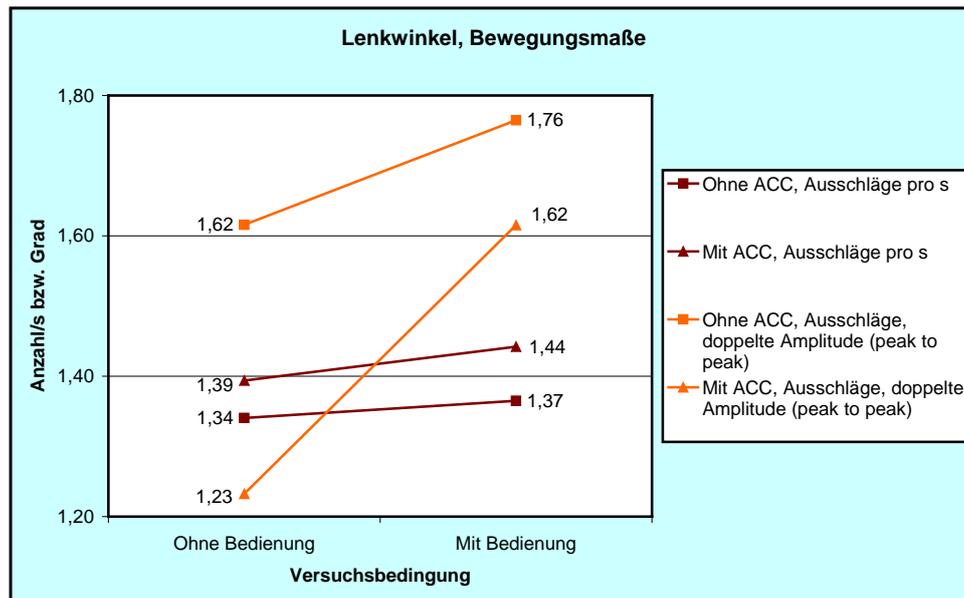


Abbildung 114. Lenkwinkel, Zahl der Ausschläge pro Sekunde und deren doppelte Amplitude, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne und mit ACC

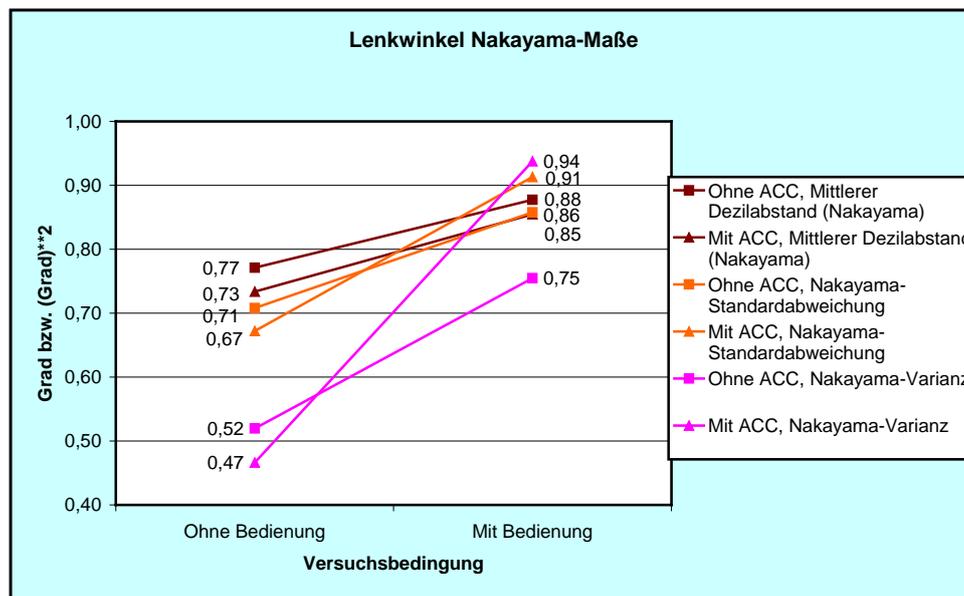


Abbildung 115. Mittlerer Dezilabstand, Standardabweichung und Varianz der Nakayama-Verteilungen des Lenkwinkels, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne und mit ACC

Interpretation

Der Haupteffekt *Bedienung* war trotz der geringeren Personenzahl in diesem Teilversuch völlig analog zu dem im Hauptversuch. Bei allen fünf verwendeten Maßen verschlechterte sich die Fahrleistung unter Bedieninstruktion, d. h. erhöhte sich im Sinne von Nakayama et al. (1999) die mentale oder visuelle Beanspruchung des Fahrers (Abbildung 114 und Abbildung 115). Der Haupteffekt ACC zeigte für *Ausschläge pro Sekunde* eine signifikante Zunahme, für *doppelte Amplitude*

der Ausschläge dagegen eine signifikante Reduktion an. Das letztgenannte Resultat könnte trotz statistischer Signifikanz ein Artefakt der technischen Eigenschaften des Lenkwinkelsignals sein. Die übrigen drei Nakayama-Maße verfehlten für ACC die Signifikanzgrenze.

Signifikanztests

Lenkbewegung Ausschläge pro Sekunde						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,020	1	0,0199	10,501	0,0059	0,4286
Error(Bedingung)	0,026	14	0,0019			
ACC	0,064	1	0,0636	20,988	0,0004	0,5999
Error(ACC)	0,042	14	0,0030			
Bedingung * ACC	0,002	1	0,0021	0,570	0,4626	0,0391
Error(Bedingung * ACC)	0,052	14	0,0037			
Lenkbewegung Ausschläge doppelte Amplitude						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	1,060	1	1,0600	15,534	0,0015	0,5260
Error(Bedingung)	0,955	14	0,0682			
ACC	1,064	1	1,0637	14,481	0,0019	0,5084
Error(ACC)	1,028	14	0,0735			
Bedingung * ACC	0,205	1	0,2052	2,008	0,1784	0,1254
Error(Bedingung * ACC)	1,431	14	0,1022			
Lenkbewegung, Mittlerer Dezilabstand (Nakayama)						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,194	1	0,1939	110,517	0,0000	0,8876
Error(Bedingung)	0,025	14	0,0018			
ACC	0,014	1	0,0135	3,831	0,0705	0,2149
Error(ACC)	0,049	14	0,0035			
Bedingung * ACC	0,001	1	0,0008	1,185	0,2947	0,0780
Error(Bedingung * ACC)	0,010	14	0,0007			
Lenkbewegung, Nakayama-Standardabweichung						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,573	1	0,5727	35,272	0,0000	0,7159
Error(Bedingung)	0,227	14	0,0162			
ACC	0,001	1	0,0014	0,086	0,7741	0,0061
Error(ACC)	0,231	14	0,0165			
Bedingung * ACC	0,031	1	0,0312	1,390	0,2580	0,0903
Error(Bedingung * ACC)	0,315	14	0,0225			
Lenkbewegung Nakayama-Varianz						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	1,873	1	1,8733	13,398	0,0026	0,4890
Error(Bedingung)	1,957	14	0,1398			
ACC	0,063	1	0,0632	0,487	0,4965	0,0336
Error(ACC)	1,814	14	0,1296			
Bedingung * ACC	0,209	1	0,2092	1,267	0,2793	0,0830
Error(Bedingung * ACC)	2,312	14	0,1651			

Aufspaltung der Abschnitte mit Bedienung in die inaktive und die aktive Phase Fahrten ohne ACC

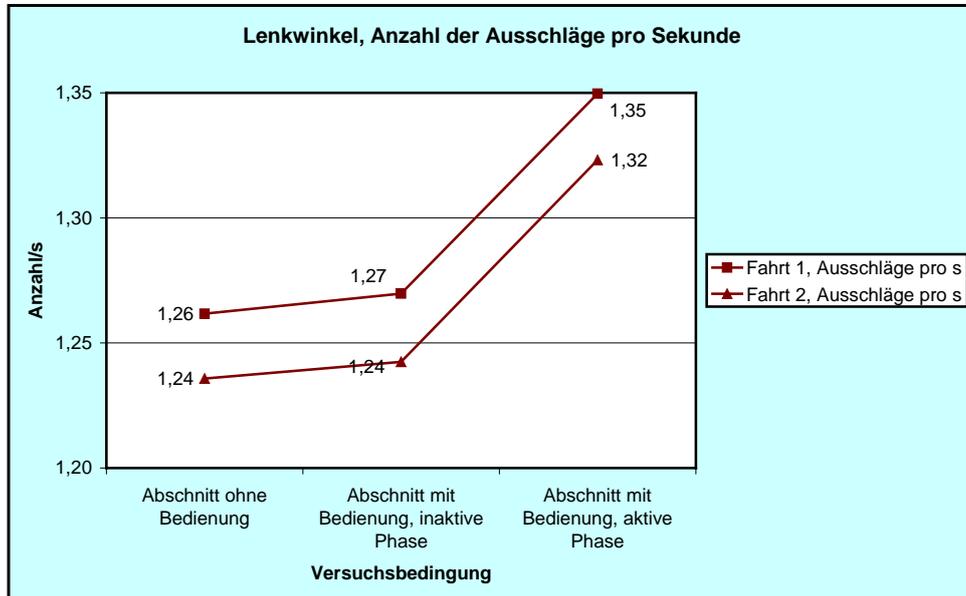


Abbildung 116. Lenkwinkel, Zahl der Lenkausschläge pro Sekunde, Abschnitte mit Bedienung zwischen inaktiver und aktiver Phase aufgeteilt, getrennt nach erster und zweiter Fahrt, ohne ACC

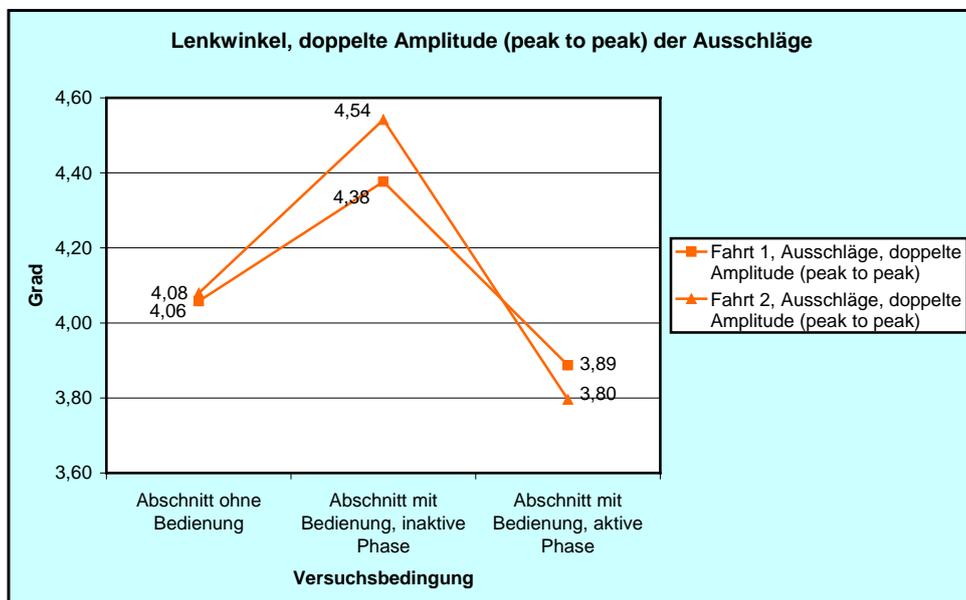


Abbildung 117. Lenkwinkel, doppelte Amplitude (peak to peak) der Lenkausschläge,, Abschnitte mit Bedienung zwischen inaktiver und aktiver Phase aufgeteilt, getrennt nach erster und zweiter Fahrt, ohne ACC

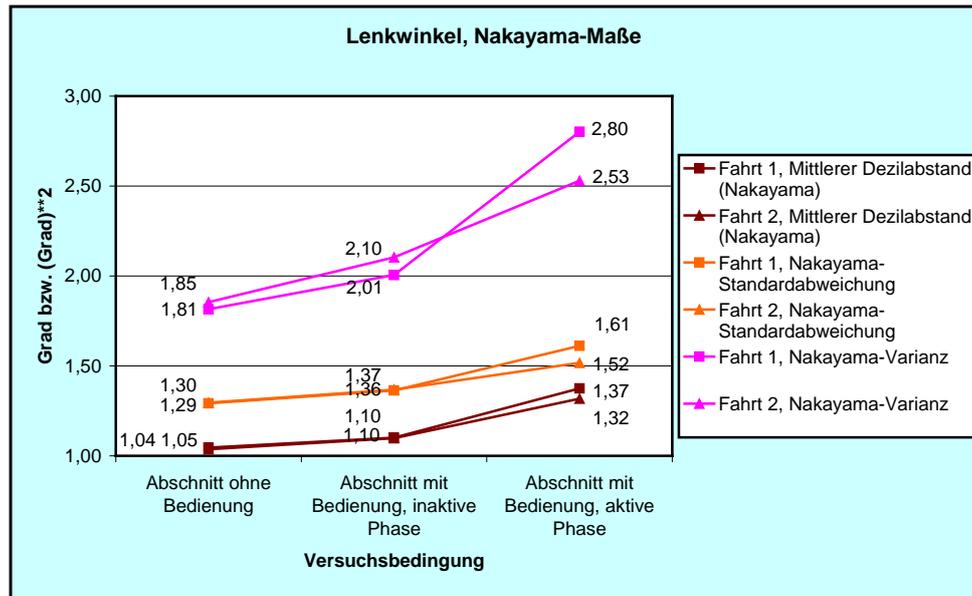


Abbildung 118. Mittlerer Dezilabstand, Standardabweichung und Varianz der Nakayama-Verteilungen des Lenkwinkels, Abschnitte mit Bedienung zwischen inaktiver und aktiver Phase aufgeteilt, getrennt nach erster und zweiter Fahrt, ohne ACC

Interpretation

Abbildung 116 und Abbildung 118 zeigen wie im Simulatorversuch in der *inaktiven Phase* der Abschnitte *mit Bedienung* eine Zunahme der Lenkwinkelmaße gegenüber der Kontrollbedingung *ohne Bedienung*, also eine erhöhte mentale oder visuelle Beanspruchung bereits in der Vorbereitung und bei der Nachbearbeitung der Bedienhandlung. Abbildung 117 zeigt eine massive Erhöhung der *doppelten Amplitude der Ausschläge* während der *inaktiven Phase* und einen starken Abfall der Werte während der *aktiven Phase*. Dieses Ergebnis steht im Gegensatz zu demjenigen im Simulatorversuch (vgl. Abbildung 51) und ist theoretisch nicht einzuordnen. Wir haben hier die Auswertung besonders sorgfältig auf mögliche Fehler hin überprüft und vermuten ein Artefakt infolge der problematischen Eigenschaften des Lenkwinkelsignals.

Signifikanztests

Lenkbewegung Ausschläge pro Sekunde						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,5585	2	0,2792	25,788	0,0000	0,3078
Error(Bedingung)	1,2560	116	0,0108			
Fahrt	0,0624	1	0,0624	8,930	0,0041	0,1334
Error(Fahrt)	0,4056	58	0,0070			
Bedingung * Fahrt	0,0000	2	0,0000	0,002	0,9979	0,0000
Error(Bedingung * Fahrt)	0,7425	116	0,0064			

Lenkbewegung Ausschläge doppelte Amplitude						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	23,026	2	11,5130	22,476	0,0000	0,2793
Error(Bedingung)	59,421	116	0,5122			
Fahrt	0,089	1	0,0888	0,138	0,7115	0,0024
Error(Fahrt)	37,286	58	0,6429			
Bedingung * Fahrt	0,973	2	0,4865	0,464	0,6300	0,0079
Error(Bedingung * Fahrt)	121,671	116	1,0489			

Lenkbewegung, Mittlerer Dezilabstand (Nakayama)						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	6,202	2	3,1009	180,285	0,0000	0,7566
Error(Bedingung)	1,995	116	0,0172			
Fahrt	0,046	1	0,0461	3,412	0,0698	0,0556
Error(Fahrt)	0,783	58	0,0135			
Bedingung * Fahrt	0,053	2	0,0263	2,832	0,0630	0,0465
Error(Bedingung * Fahrt)	1,078	116	0,0093			

Lenkbewegung, Nakayama-Standardabweichung						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	4,642	2	2,3212	63,319	0,0000	0,5219
Error(Bedingung)	4,252	116	0,0367			
Fahrt	0,073	1	0,0729	1,541	0,2195	0,0259
Error(Fahrt)	2,745	58	0,0473			
Bedingung * Fahrt	0,194	2	0,0972	2,015	0,1380	0,0336
Error(Bedingung * Fahrt)	5,593	116	0,0482			

Lenkbewegung Nakayama-Varianz						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	43,788	2	21,8942	38,670	0,0000	0,4000
Error(Bedingung)	65,676	116	0,5662			
Fahrt	0,177	1	0,1774	0,321	0,5729	0,0055
Error(Fahrt)	31,998	58	0,5517			
Bedingung * Fahrt	2,338	2	1,1692	2,438	0,0918	0,0403
Error(Bedingung * Fahrt)	55,621	116	0,4795			

Vergleich Fahrten ohne und mit ACC

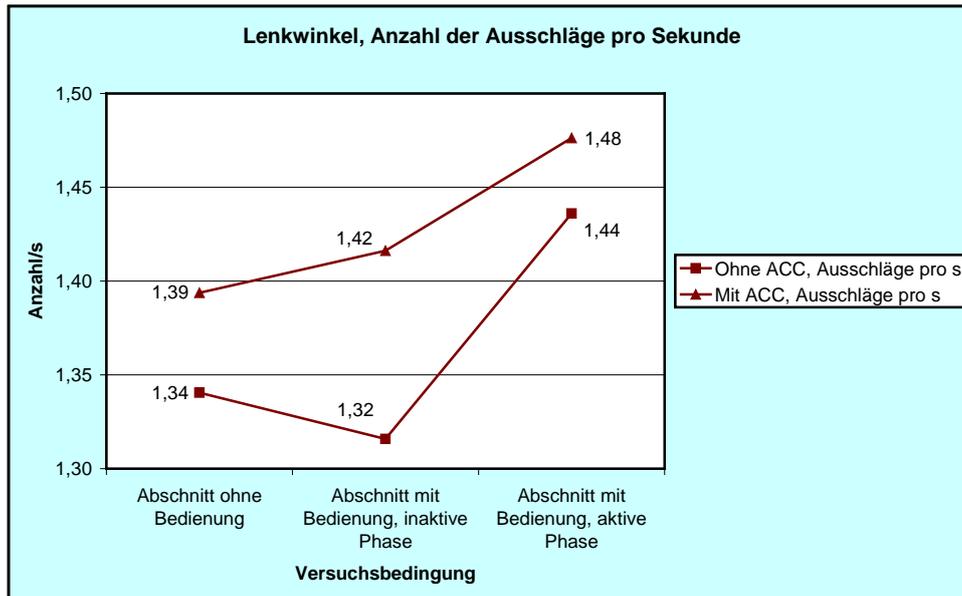


Abbildung 119. Lenkwinkel, Zahl der Lenkausschläge pro Sekunde, Abschnitte mit Bedienung zwischen inaktiver und aktiver Phase aufgeteilt, ohne und mit ACC

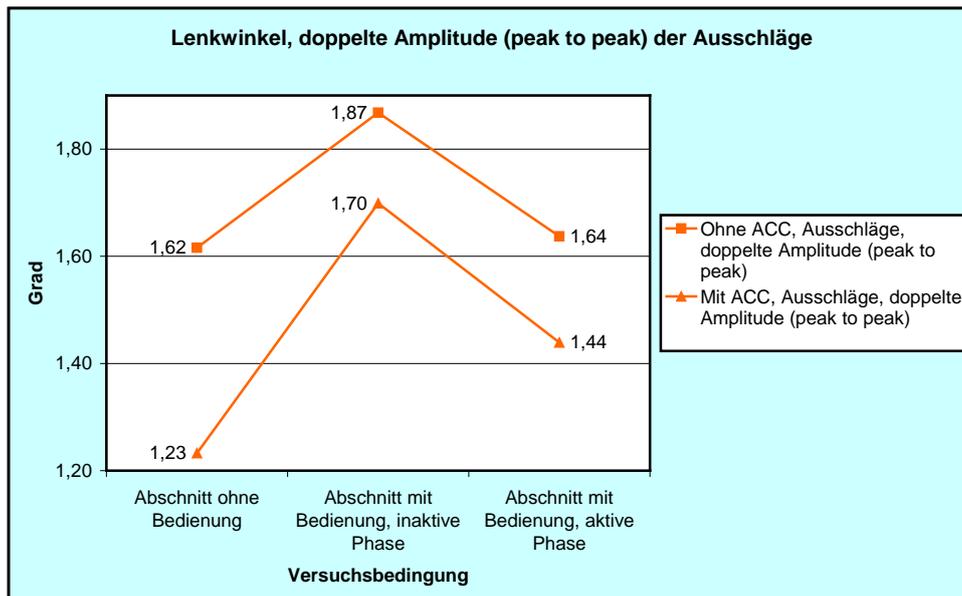


Abbildung 120. Lenkwinkel, doppelte Amplitude (peak to peak) der Lenkausschläge, Abschnitte mit Bedienung zwischen inaktiver und aktiver Phase aufgeteilt, ohne und mit ACC

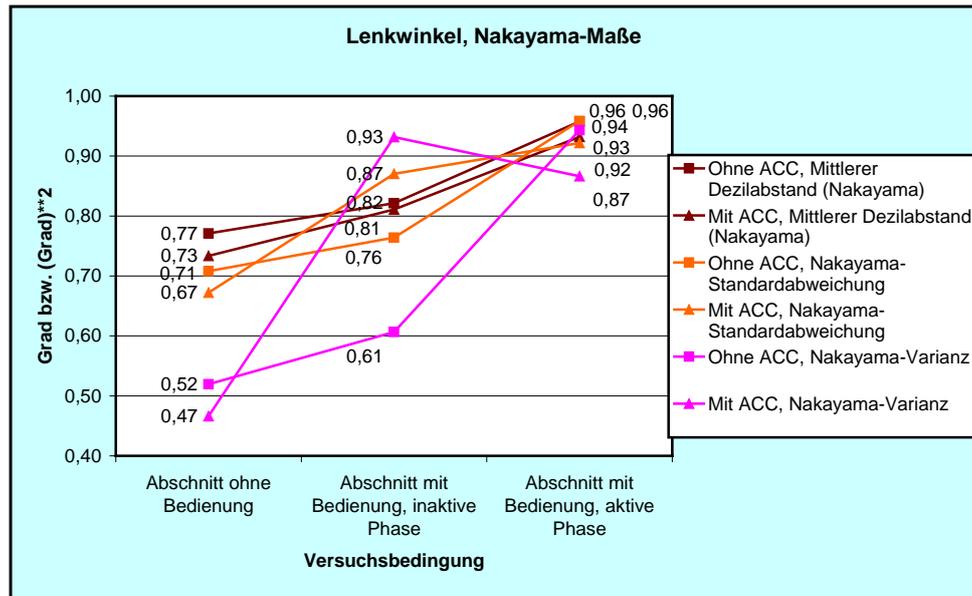


Abbildung 121. Mittlerer Dezilabstand, Standardabweichung und Varianz der Nakayama-Verteilungen des Lenkwinkels, Abschnitte mit Bedienung zwischen inaktiver und aktiver Phase aufgeteilt, ohne und mit ACC

Interpretation

Abbildung 119 bis Abbildung 121 zeigen das gleiche Bild wie die Fahrten *ohne ACC*. Die Maße der mentalen Beanspruchung steigen gegenüber der Kontrollbedingung *ohne Bedienung* in der *inaktiven Phase* der Versuchsbedingung *mit Bedienung* leicht und in der *aktiven Phase* stark an. Nur die doppelte Amplitude der Lenkausschläge (Abbildung 120) zeigt hier wieder den unerklärten gegenteiligen Befund. Die Anzahl der Lenkausschläge pro Sekunde ist *mit ACC* signifikant höher, die doppelte Amplitude der Lenkausschläge signifikant niedriger als *ohne ACC*. Die Nakayama-Variablen verhalten sich mit der Ausnahme eines Ausreißers bei der Nakayama-Varianz in der *inaktiven Phase* wie erwartet.

Signifikanztests

Lenkbewegung Ausschläge pro Sekunde						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,1607	2	0,0803	12,104	0,0002	0,4637
Error(Bedingung)	0,1858	28	0,0066			
ACC	0,0938	1	0,0938	22,061	0,0003	0,6118
Error(ACC)	0,0595	14	0,0043			
Bedingung * ACC	0,0150	2	0,0075	1,608	0,2183	0,1030
Error(Bedingung * ACC)	0,1307	28	0,0047			
Lenkbewegung Ausschläge doppelte Amplitude						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	2,021	2	1,0107	5,793	0,0078	0,2927
Error(Bedingung)	4,885	28	0,1745			
ACC	1,406	1	1,4063	12,853	0,0030	0,4786
Error(ACC)	1,532	14	0,1094			
Bedingung * ACC	0,203	2	0,1015	0,779	0,4684	0,0527
Error(Bedingung * ACC)	3,646	28	0,1302			
Lenkbewegung, Mittlerer Dezilabstand (Nakayama)						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,577	2	0,2887	40,065	0,0000	0,7411
Error(Bedingung)	0,202	28	0,0072			
ACC	0,014	1	0,0137	2,370	0,1460	0,1448
Error(ACC)	0,081	14	0,0058			
Bedingung * ACC	0,003	2	0,0013	0,715	0,4980	0,0486
Error(Bedingung * ACC)	0,053	28	0,0019			
Lenkbewegung, Nakayama-Standardabweichung						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,938	2	0,4692	14,681	0,0000	0,5119
Error(Bedingung)	0,895	28	0,0320			
ACC	0,003	1	0,0028	0,129	0,7247	0,0091
Error(ACC)	0,307	14	0,0219			
Bedingung * ACC	0,102	2	0,0508	2,139	0,1367	0,1325
Error(Bedingung * ACC)	0,665	28	0,0237			
Lenkbewegung Nakayama-Varianz						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	2,645	2	1,3224	6,102	0,0063	0,3036
Error(Bedingung)	6,068	28	0,2167			
ACC	0,095	1	0,0951	0,528	0,4794	0,0364
Error(ACC)	2,520	14	0,1800			
Bedingung * ACC	0,763	2	0,3815	1,962	0,1594	0,1229
Error(Bedingung * ACC)	5,443	28	0,1944			

8.3.15 Fahrlehrerurteile

Keine Vorgabe IVI & TUD (2005)

Sicherheitsurteil abschnittsweise

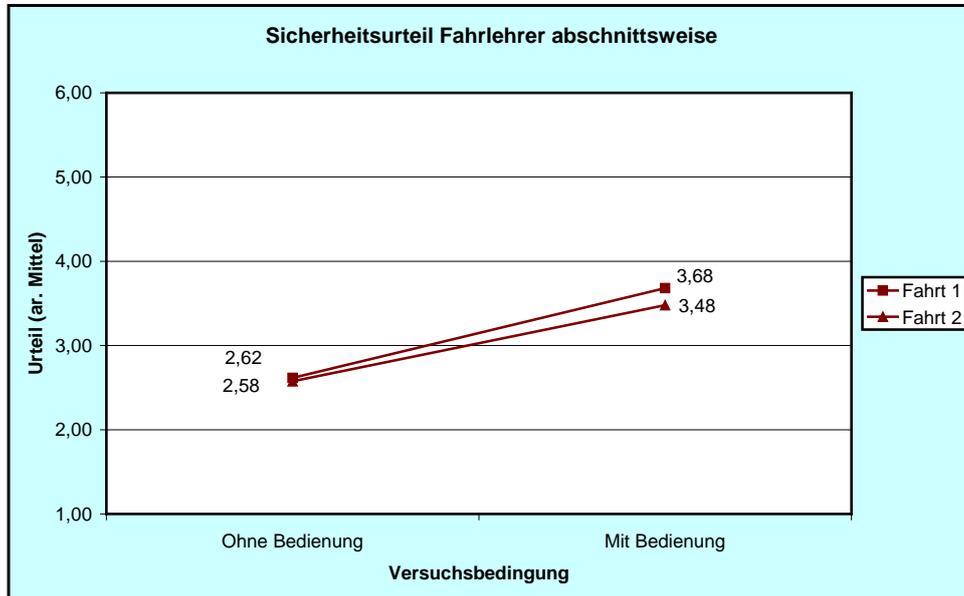


Abbildung 122. Sicherheitsurteil der Fahrlehrerin für die einzelnen Abschnitte, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne ACC. Urteile: 1 = „sehr sicher“ ... 6 = „sehr unsicher“ (Schulnoten)

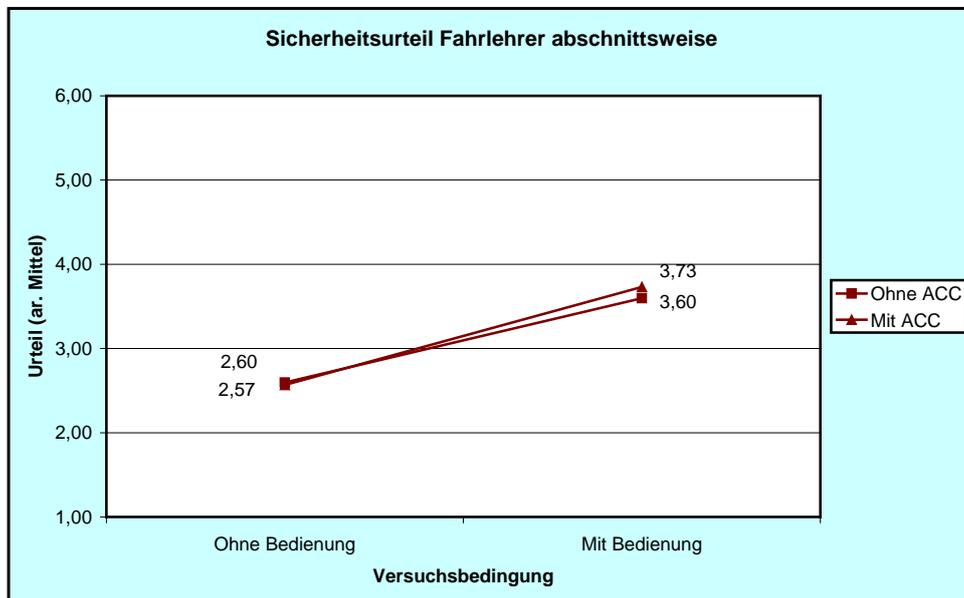


Abbildung 123. Sicherheitsurteil der Fahrlehrerin für die einzelnen Abschnitte, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne und mit ACC. Urteile: 1 = „sehr sicher“ ... 6 = „sehr unsicher“ (Schulnoten)

Interpretation

Das von der Fahrlehrerin abschnittsweise abgegebene globale Sicherheitsurteil gibt die beiden unterschiedlichen Fahrsituationen, *ohne* und *mit Bedienung*, sehr gut wieder. Aus ihrer Sicht verschlechtert sich die Fahrsicherheit auf der Skala von 1 (*sehr sicher*) bis 6 (*sehr unsicher*) von durchschnittlich 2,6 auf 3,6 (Abbildung 122; Mittelwert aus Fahrt 1 und Fahrt 2), was ziemlich genau den Ergebnissen aus dem Simulatorversuch entspricht: Hier lagen diese Werte bei 2,5 und 4,1. Auf der anderen Seite lässt sich ein signifikanter Einfluss der Variable ACC auf das Fahrlehrerurteil nicht feststellen (Abbildung 123). Obwohl nach den objektiven Daten die Vpn *mit ACC* zumindest hinsichtlich der Fehler *Überschreiten der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit* und *Längsabstand zu gering* merklich sicherer fahren, spiegelt sich dieser Unterschied im Urteil der Fahrlehrerin nicht wider. Der Grund könnte sein, dass die Bedingungen *ohne* und *mit ACC* zwischen den Fahrten und nicht, wie *ohne* und *mit Bedienung*, zwischen den Abschnitten der einzelnen Fahrten wechselten. So ist der Vergleich der ACC-Bedingungen ein Sukzessivvergleich mit relativ großem Zeitabstand zwischen den Bedingungen, während der Vergleich zwischen den Bedienungsbedingungen schon fast einem Simultanvergleich entspricht. Menschliche Beurteiler sind aber bei Simultanvergleichen für Unterschiede wesentlich sensitiver.

Signifikanztests

Sicherheitsurteil Fahrlehrer abschnittsweise						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	57,138	1	57,138	245,961	0,0000	0,8092
Error(Bedingung)	13,474	58	0,232			
Fahrt	0,868	1	0,868	3,798	0,0562	0,0615
Error(Fahrt)	13,257	58	0,229			
Bedingung * Fahrt	0,388	1	0,388	2,738	0,1034	0,0451
Error(Bedingung * Fahrt)	8,213	58	0,142			
Sicherheitsurteil Fahrlehrer abschnittsweise						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	17,575	1	17,575	60,387	0,0000	0,8118
Error(Bedingung)	4,075	14	0,291			
ACC	0,043	1	0,043	0,446	0,5150	0,0309
Error(ACC)	1,347	14	0,096			
Bedingung * ACC	0,098	1	0,098	0,338	0,5701	0,0236
Error(Bedingung * ACC)	4,050	14	0,289			

Einzelfehler, Fahrten ohne ACC

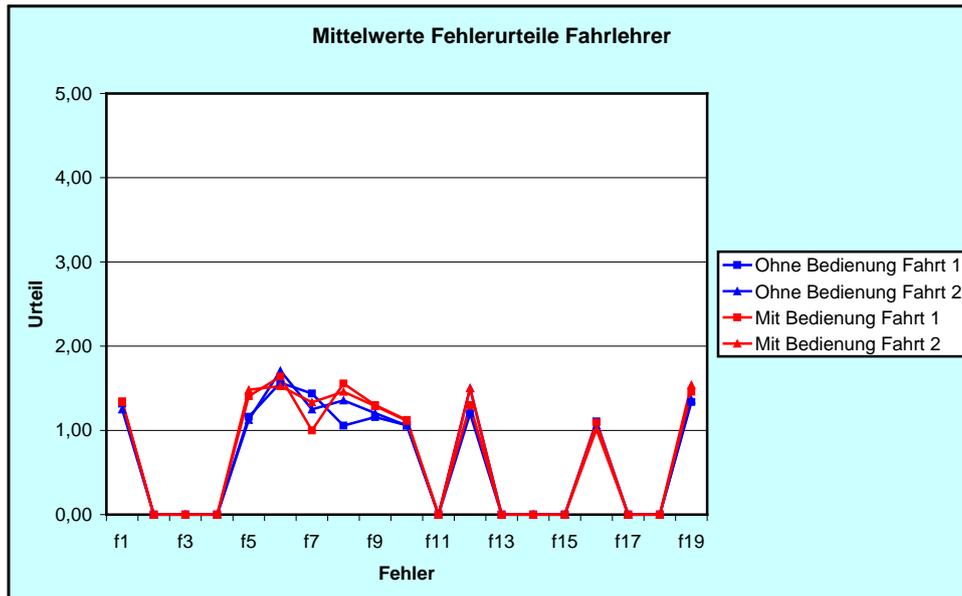


Abbildung 124. Mittelwerte der Fehlerurteile der Fahrlehrerin bei den Einzelfehlern, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne ACC. Urteile: 1 = „keine Gefährdung erkennbar“, 2 = „geringe Gefährdung“, 3 = „erhebliche Gefährdung“, 4 = „extreme Gefährdung, Fahrlehrereingriff notwendig“. „0“ bedeutet, dass das Fehlerurteil bei keiner einzigen Person unter der jeweiligen Bedingung vergeben wurde. Die Variablennamen der Fehler enthält Tabelle 24

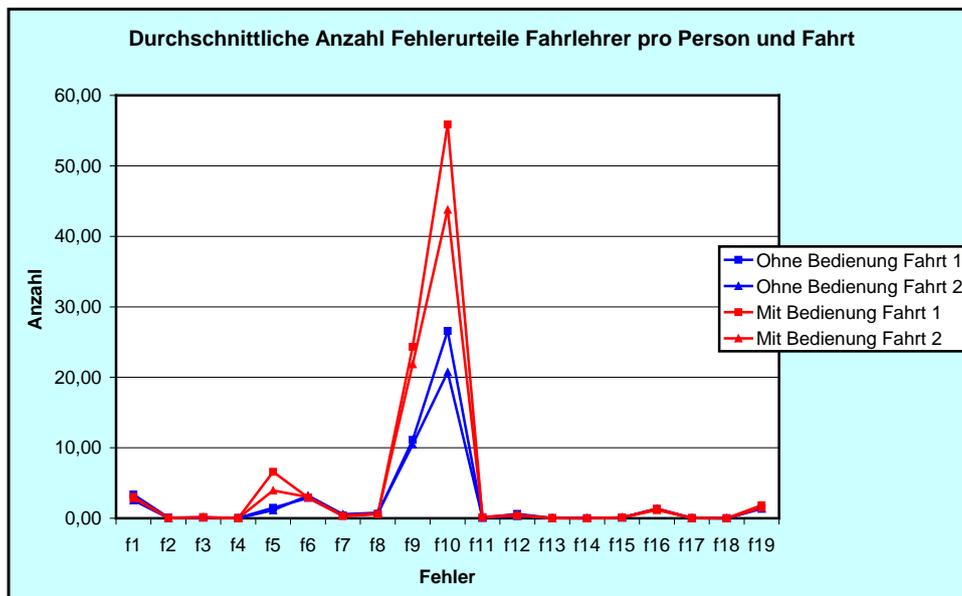


Abbildung 125. Durchschnittliche Anzahl der Fehlerurteile der Fahrlehrerin bei den Einzelfehlern, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne ACC. Die Variablennamen der Fehler enthält Tabelle 24

Tabelle 24. Variablenliste der Fehlerkategorien der Fahrlehrerin

f1	Geschwindigkeit zu hoch für Begrenzung
f2	Geschwindigkeit zu hoch für Straßenverlauf
f3	Geschwindigkeit zu hoch für Sichtbedingungen
f4	Geschwindigkeit zu hoch für Fahrbahnzustand
f5	Geschwindigkeit zu niedrig für Verkehrssituation
f6	Längsabstand zu gering für Geschwindigkeit
f7	Längsabstand zu gering für Geschwindigkeitsdifferenz
f8	Zu späte Bremsreaktion
f9	Zu geringer Seitenabstand
f10	Unsicheres Spurhalten
f11	Zu geringe Zeitlücke beim Spurwechsel
f12	Lenk-/Stabilisierungsfehler beim Spurwechsel
f13	Überholen trotz Verbots
f14	Überholen mit Gefährdung
f15	Fehler beim Kreuzen/Abbiegen
f16	Blinken unterlassen
f17	Falsches Blinken
f18	Blickabwendung von der Straße
f19	Linksfahren bei freier rechter Spur

Anmerkung: Die Tabelle ist identisch mit Tabelle 8 und wird hier nur zur Leseerleichterung erneut wiedergegeben.

Interpretation

Wie im Simulatorversuch zeigt das Urteil *unsicheres Spurhalten* (Abbildung 125) die größte Häufigkeit unter den Fahrfehlern: Es wurde *mit Bedienung* bei der ersten Fahrt durchschnittlich 55,9 mal, bei der zweiten Fahrt 43,8 mal vergeben, *ohne Bedienung* nur durchschnittlich 26,6 bzw. 20,7 mal. Sowohl der Unterschied zwischen *ohne* und *mit Bedienung* als auch der zwischen *erster* und *zweiter Fahrt* sind auf dem 1 %-Niveau signifikant. Es findet also sowohl eine Gewöhnung an das bis dahin fremde Auto als auch ein Übungsgewinn beim Bedienen des Navigationssystems statt. Daneben finden sich noch zwei weitere signifikante Unterschiede zwischen *ohne* und *mit Bedienung*: Das Urteil *Geschwindigkeit zu niedrig für Verkehrssituation* und *zu geringer Seitenabstand* wurden unter Bedieninstruktion signifikant häufiger vergeben ($p < 0,01$). Dass das Urteil *Geschwindigkeit zu niedrig* unter Bedieninstruktion häufiger vergeben wurde, spiegelt die deutlich vorsichtigeren Fahrweise wider, die die Vpn unter der Zusatzbelastung der Eingabe in das Navigationssystem wählen, die im Grenzfall, betrachtet man die Fahrsituation insgesamt, bereits unangemessen sein kann. Die meisten anderen Fahrfehler kamen überhaupt nicht oder nur selten vor.

Ausgewählte Signifikanztests - Anzahl der Fehlerurteile

Fehlerzahlen Geschwindigkeit zu niedrig - f5						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	924,106	1	924,106	47,74	0,0000	0,4515
Error(Bedingung)	1122,644	58	19,356			
Fahrt	132,750	1	132,750	25,41	0,0000	0,3046
Error(Fahrt)	303,000	58	5,224			
Bedingung * Fahrt	79,530	1	79,530	27,26	0,0000	0,3197
Error(Bedingung * Fahrt)	169,220	58	2,918			

Fehlerzahlen Seitenabstand zu gering - f9						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	8908,898	1	8908,898	177,01	0,0000	0,7532
Error(Bedingung)	2919,102	58	50,329			
Fahrt	143,458	1	143,458	4,22	0,0444	0,0679
Error(Fahrt)	1970,542	58	33,975			
Bedingung * Fahrt	47,610	1	47,610	2,02	0,1605	0,0337
Error(Bedingung * Fahrt)	1366,390	58	23,558			

Fehlerzahlen Unsicheres Spurhalten - f10						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	40431,869	1	40431,869	235,88	0,0000	0,8026
Error(Bedingung)	9941,881	58	171,412			
Fahrt	4734,106	1	4734,106	47,80	0,0000	0,4518
Error(Fahrt)	5744,644	58	99,046			
Bedingung * Fahrt	576,953	1	576,953	11,93	0,0010	0,1707
Error(Bedingung * Fahrt)	2803,797	58	48,341			

Einzelfehler, Vergleich Fahrten ohne und mit ACC

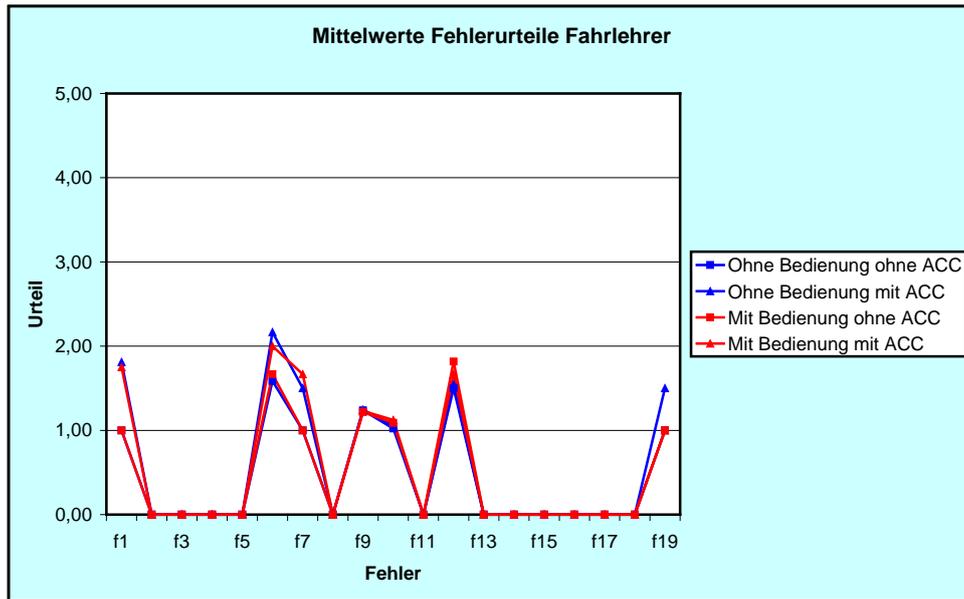


Abbildung 126. Mittelwerte der Fehlerurteile der Fahrlehrerin bei den Einzelfehlern, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne und mit ACC. Urteile: 1 = „keine Gefährdung erkennbar“, 2 = „geringe Gefährdung“, 3 = „erhebliche Gefährdung“, 4 = „extreme Gefährdung, Fahrlehrereingriff notwendig“. „0“ bedeutet, dass das Fehlerurteil bei keiner einzigen Person unter allen vier Bedingungen vergeben wurde

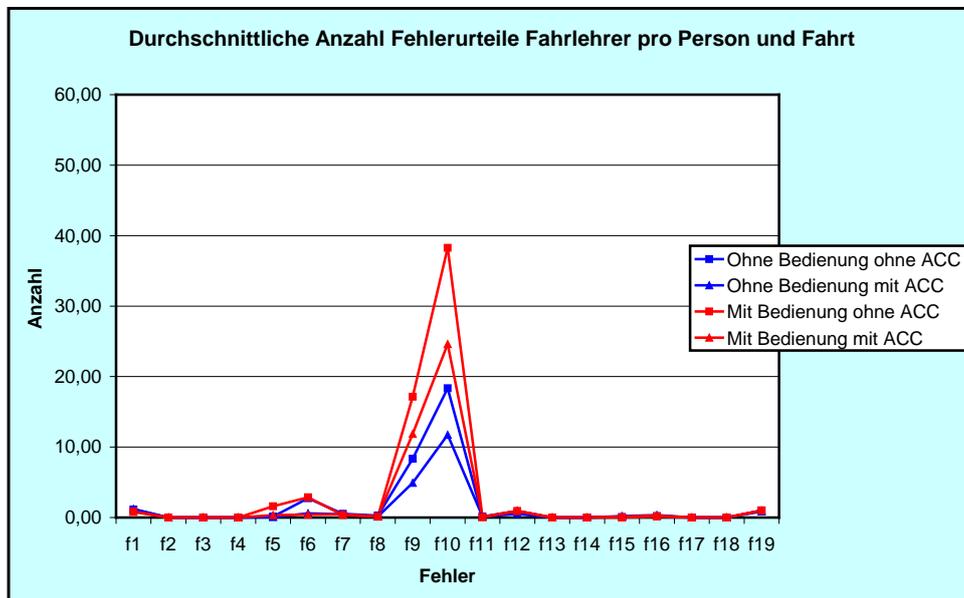


Abbildung 127. Durchschnittliche Anzahl der Fehlerurteile der Fahrlehrerin bei den Einzelfehlern, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne und mit ACC

Interpretation

Obwohl sich ein Unterschied zwischen Fahren *ohne* und *mit ACC* im Gesamturteil der Fahrlehrerin nicht widerspiegelt, zeigt sich in der Anzahl der Fehlerurteile bei vier Kategorien ein signifikanter Einfluss der Variablen ACC (Abbildung 127). Die Fehlerzahl für *Geschwindigkeit zu niedrig*, *Längsabstand zu gering für Geschwindigkeit*, *Seitenabstand zu gering* und *Unsicheres Spurhalten* ist beim Fahren *mit ACC* im Sinne einer sichereren Fahrweise verringert (alle vier Unterschiede s.; $p < 0,01$). Bemerkenswert ist, dass sich die *mit ACC* stark erhöhte Fehlerdauer und -anzahl in Stufe 1 beim Längsabstand (vgl. Abbildung 77 und Abbildung 78) im Fahrlehrerurteil nicht niederschlägt. Das ist bei den Beurteilerfehlern unter dem Namen *logischer Fehler* bekannt: Die Beurteilerin vertraut auf ihr Wissen, dass das ACC keinen zu geringen Längsabstand zulässt und notiert auch da kein Fehlerurteil, wo die Regelung so weit überschwingt, dass es angezeigt wäre.

Ausgewählte Signifikanztests - Anzahl der Fehlerurteile

Fehlerzahlen Geschwindigkeit zu niedrig - f5						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	11,267	1	11,267	9,72	0,0076	0,4097
Error(Bedingung)	16,233	14	1,160			
ACC	6,667	1	6,667	11,91	0,0039	0,4598
Error(ACC)	7,833	14	0,560			
Bedingung * ACC	5,400	1	5,400	14,82	0,0018	0,5143
Error(Bedingung* ACC)	5,100	14	0,364			
Fehlerzahlen Längsabstand zu gering für Geschwindigkeit - f6						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,017	1	0,017	0,01	0,9380	0,0004
Error(Bedingung)	37,233	14	2,660			
ACC	79,350	1	79,350	9,19	0,0090	0,3963
Error(ACC)	120,900	14	8,636			
Bedingung * ACC	0,417	1	0,417	0,12	0,7373	0,0083
Error(Bedingung* ACC)	49,833	14	3,560			
Fehlerzahlen Seitenabstand zu gering - f9						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	928,267	1	928,267	29,29	0,0001	0,6766
Error(Bedingung)	443,733	14	31,695			
ACC	281,667	1	281,667	20,72	0,0005	0,5968
Error(ACC)	190,333	14	13,595			
Bedingung * ACC	13,067	1	13,067	0,97	0,3418	0,0647
Error(Bedingung* ACC)	188,933	14	13,495			
Fehlerzahlen Unsicheres Spurhalten - f10						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	4034,400	1	4034,400	68,08	0,0000	0,8294
Error(Bedingung)	829,600	14	59,257			
ACC	1540,267	1	1540,267	34,68	0,0000	0,7124
Error(ACC)	621,733	14	44,410			
Bedingung * ACC	187,267	1	187,267	3,68	0,0758	0,2081
Error(Bedingung* ACC)	712,733	14	50,910			

8.3.16 Rating scale of mental effort (RSME)

Nach IVI & TUD (2005, S. A/IV-1, Auswertung S. 160)

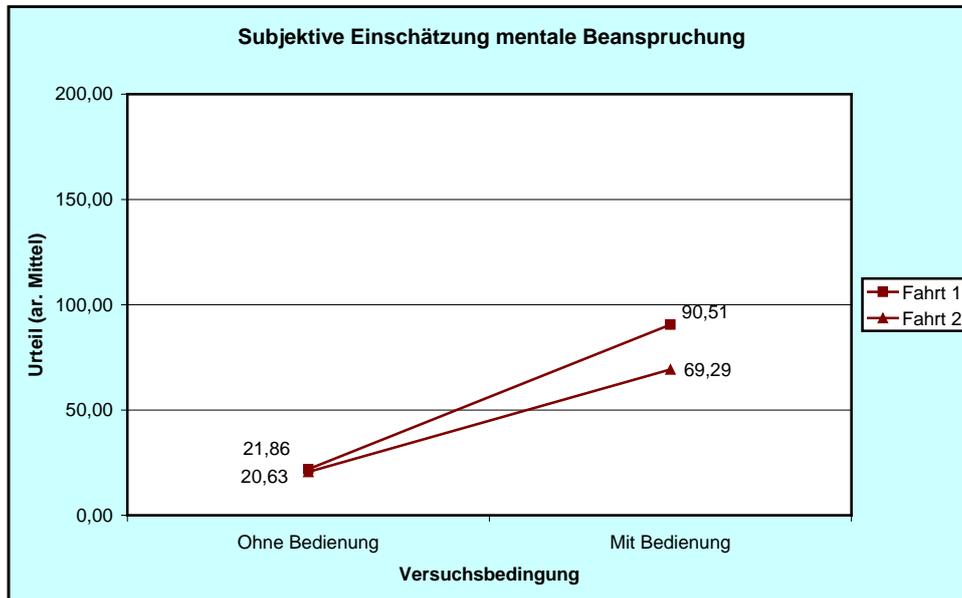


Abbildung 128. Subjektive Einschätzung der mentalen Beanspruchung (RSME), Abschnitte ohne und mit Bedienung, getrennt nach erster und zweiter Fahrt, n = 59 Personen ohne ACC

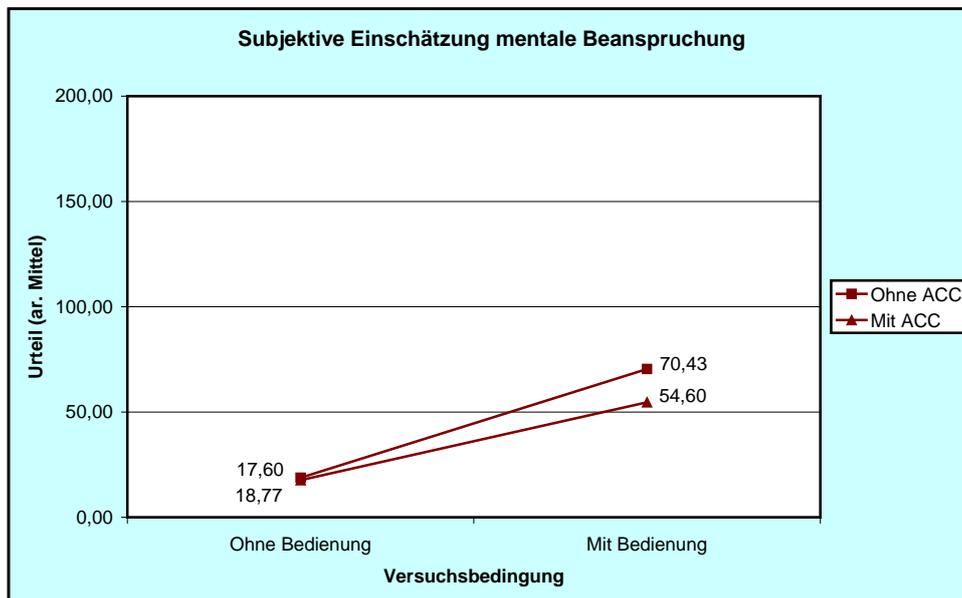


Abbildung 129. Subjektive Einschätzung der mentalen Beanspruchung (RSME), Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne und mit ACC, n = 15 Personen mit ACC

Interpretation

Wie im Simulatorversuch erhört sich die subjektive mentale Belastung deutlich unter Bedieninstruktion, wobei die zweite Fahrt als weniger belastend erlebt wird als die erste (Abbildung 128). Der Haupteffekt ACC ist ebenfalls signifikant, allerdings nur auf dem 5 %-Signifikanzniveau (Abbildung 129). Am deutlichsten macht sich der Einfluss von ACC unter der Bedieninstruktion bemerkbar (Interaktion $ACC \times Bedienung$ s.; $p < 0,01$): Die Bedienung des Navigationssystems wird als deutlich weniger anstrengend erlebt, wenn mit ACC gefahren wird, während Abschnitte ohne Bedienung unabhängig von ACC praktisch gleich beurteilt werden.

Signifikanztests

Subjektive Einschätzung mentale Beanspruchung						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	202967,123	1	202967,123	138,062	0,0000	0,7042
Error(Bedingung)	85266,627	58	1470,114			
Fahrt	7439,089	1	7439,089	20,354	0,0000	0,2598
Error(Fahrt)	21198,661	58	365,494			
Bedingung * Fahrt	5890,004	1	5890,004	27,870	0,0000	0,3246
Error(Bedingung * Fahrt)	12257,746	58	211,340			
Subjektive Einschätzung mentale Beanspruchung						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	29481,67	1	29481,67	12,846	0,0030	0,4785
Error(Bedingung)	32130,08	14	2295,01			
ACC	1083,75	1	1083,75	5,541	0,0337	0,2836
Error(ACC)	2738,25	14	195,59			
Bedingung * ACC	806,67	1	806,67	11,098	0,0049	0,4422
Error(Bedingung * ACC)	1017,58	14	72,68			

8.3.17 Situationsbewusstsein (Situation Awareness)

Von 18 markanten Stellen des Fahrwegs, meistens am Anfang der Abschnitte laut Versuchsplan, wurden Farbfotos im Format 6 x 11 cm angefertigt. Nach der ersten Fahrt wurde der Vp unerwartet ein Testheft mit diesen Fotos vorgelegt. Jedes davon war mit einer Frage wie „Gilt hier eine Geschwindigkeitsbegrenzung?“ oder „Sind Sie hier auf der linken oder der rechten Spur gefahren?“ verbunden. Die Fragen galten statischen und dynamischen Situationsmerkmalen, objektiven Gegebenheiten und dem Verhalten bei der eigenen Fahrt. Die Wiedergabeleistung sollte das Situationsbewusstsein operationalisieren. Die durchschnittliche Anzahl richtiger Antworten zeigt Abbildung 130.

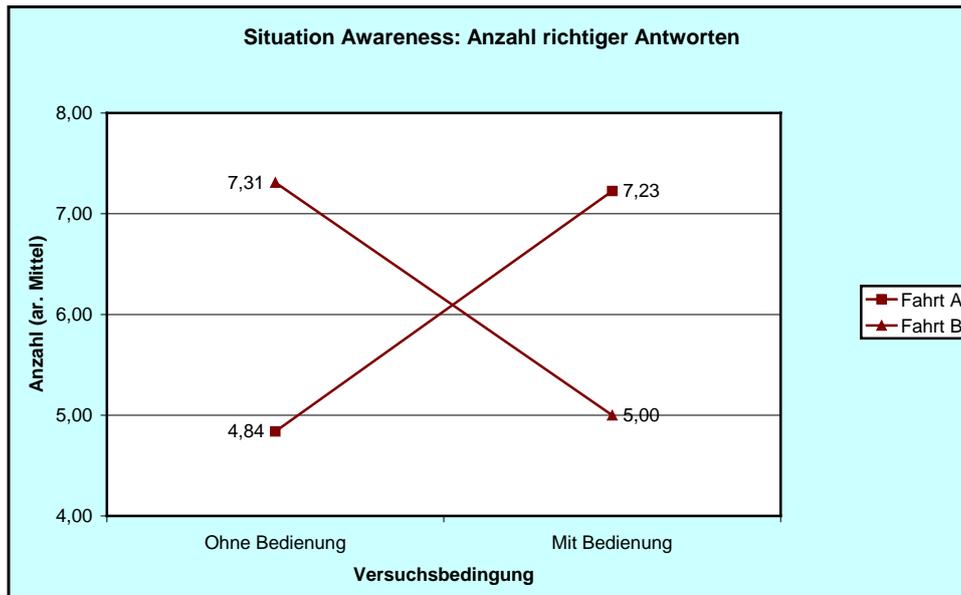


Abbildung 130. Die Wiedergabeleistung (Anzahl richtiger Antworten) bei den Bilderfragen zu den statischen und dynamischen Verkehrssituationen, getrennt nach Abschnitten ohne und mit Bedienung, ohne ACC

Signifikanztest

Situational Awareness: Anzahl richtiger Antworten						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0,044	1	0,044	0,024	0,8769	0,0004
Bedingung * Fahrt	165,311	1	165,311	90,640	0,0000	0,6098
Error(Bedingung)	105,781	58	1,824			
Fahrt	0,453	1	0,453	0,305	0,5828	0,0052
Error(Fahrt)	86,039	58	1,483			

Ein Einfluss der Versuchsbedingung auf die Wiedergabeleistung konnte eindeutig nicht festgestellt werden, die Wiedergabeleistung ist also davon unabhängig, ob das jeweilige Foto in einen Abschnitt ohne oder mit Bedienung gehört. Es muss hier offen bleiben, ob die Versuchsbedingung keinen Einfluss auf das Situationsbewusstsein hatte oder ob dieses nicht brauchbar operationalisiert wurde. Die mit einer beträchtlichen Effektgröße verbundene, hoch signifikante Wechselwirkung lässt sich mit stabilen Schwierigkeitsunterschieden zwischen den Fotos und den in ihnen abgebildeten Situationen erklären. Da die Abfrage überraschend sein sollte, um kein Monitoring zu induzieren, erhielten die Vpn den Bogen nur nach der ersten Fahrt. Bei der Hälfte der Vpn war diese vom Typ A, bei der anderen vom Typ B. Aufgrund des Versuchsplans wechselten alle Fotos ihre Rolle zwischen Fahrt A und Fahrt B. Die Abschnitte, die in Fahrt A ohne Bedienung gefahren wur-

den, wurden in Fahrt B mit Bedienung gefahren und umgekehrt. Die beiden Punkte mit den niedrigen Wiedergabeleistungen in Abbildung 130 und die beiden Punkte mit den hohen Wiedergabeleistungen gehören also unabhängig von der Versuchsbedingung immer zu den gleichen Fotos. Eine solche Wechselwirkung schließt nicht aus, dass sich eine Wirkung der Versuchsbedingung als Haupteffekt hätte zeigen können. Sie ist insofern nur ein „Schönheitsfehler“, kein prinzipieller Mangel dieses Teiles des Experimentes. Sie wäre nur durch ein eigenes Eichexperiment für das Bildmaterial, bei dem der Schwierigkeitsindex für jedes einzelne Bild ermittelt worden wäre, vermeidbar gewesen.

Dieser Versuch, das Situationsbewusstsein zu messen, muss also als gescheitert angesehen werden. Wir sind aber der Auffassung, dass die vorgeschlagene Methode sich bis zur Brauchbarkeit weiter entwickeln lässt. Eine hier bei der Planung möglicherweise zu wenig beachtete Fehlerquelle könnte darin liegen, dass die fotografierten Verkehrssituationen nicht präzise im Anfangsteil jedes Straßenabschnittes lagen, in dem die Vpn unter der Bedieninstruktion mit Sicherheit auch bedienen und die Eingabe nicht schon beendet haben.

8.3.18 Auswertung nur Vorgängerprojekt

Die folgenden abhängigen Variablen wurden im Vorgängerprojekt (IVI & TUD, 2005) ausgewertet, sind jedoch hier nicht vorhanden. *Einscheren vor anderes Fahrzeug mit zu geringer Zeitlücke* (IVI & TUD, 2005, S. 143) wurde im Straßenversuch nicht automatisch registriert, ist aber in den Fahrlehrerurteilen enthalten. Das gilt auch für *Einscheren mit Behinderung eines schnelleren Fahrzeugs* (IVI & TUD, 2005, S. 146) und für *Blickfehler beim Spurwechsel* (IVI & TUD, 2005, S. 149). *Visueller Workload, peripheral detection task (PDT)* (IVI & TUD, 2005, S. 154) wurde als Versuchsbedingung in unserem Versuch nicht mitgeführt. Die *Lidschlussfrequenz* (IVI & TUD, 2005, S. 157) wurde von uns nicht ausgewertet.

9 Die Ergebnisse von Simulator- und Straßenversuch im Überblick

Die große Zahl abhängiger Variablen in beiden Experimenten impliziert einen entsprechend großen Umfang der Resultate, wenn diese wie in den vorangegangenen Abschnitten im Detail dokumentiert werden. Die beiden folgenden Tabellen geben einen zusammenfassenden Überblick.

Tabelle 25. Die Ergebnisse des Simulator- und des Straßenversuchs im Vergleich (ohne die Auswertung „ohne und mit ACC“)

Variable	Simulator				Straße			
	Signifi- kanz	Effekt- größe	Rich- tung des Effektes	Sonsti- ge Sig- nifikan- zen	Signifi- kanz	Effekt- größe	Rich- tung des Effektes	Sonsti- ge Sig- nifikan- zen
Überschreiten der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit								
Fehlerdauer, Stufe ...								
1	s.s.	42 %	Redukt.		s.s.	40 %	Redukt.	
2	s.	10 %	Redukt.		s.s.	21 %	Redukt.	
3	s.	8 %	Redukt.		n.s.	2 %	-----	
Fehleranzahl, Stufe ...								
1	s.s.	51 %	Redukt.		s.s.	19 %	Redukt.	
2	s.	8 %	Redukt.		n.s.	3 %	-----	
3	n.s.	4 %	-----		n.s.	3 %	-----	
Längsabstand zu gering für eigene Geschwindigkeit								
Fehlerdauer, Stufe ...								
1	s.s.	50 %	Redukt.		n.s.	6 %	-----	
2	s.s.	38 %	Redukt.		s.s.	29 %	Redukt.	
3	s.	10 %	Redukt.		n.s.	6 %	-----	
Fehleranzahl, Stufe ...								
1	s.s.	44 %	Redukt.		n.s.	2 %	-----	
2	s.s.	42 %	Redukt.		n.s.	6 %	-----	
3	s.s.	12 %	Redukt.		s.s.	16 %	Redukt.	
Längsabstand zu gering für Differenzgeschwindigkeit								
Fehlerdauer, Stufe ...								
1	s.	9 %	Redukt.	Fs.s.	n.s.	7 %	-----	
2	s.s.	22 %	Redukt.		s.	8 %	Redukt.	
3	n.s.	7 %	-----		n.s.	2 %	-----	
Fehleranzahl, Stufe ...								
1	s.s.	24 %	Redukt.	Fs.	s.	8 %	Redukt.	
2	s.s.	30 %	Redukt.		n.s.	7 %	-----	
3	s.s.	12 %	Redukt.		n.s.	0 %	-----	
Unsicheres Spurhalten - Zeit bis Rand links								
Fehlerdauer, Stufe ...								
1	s.s.	51 %	Erhöhg.	IFs.				
2	s.s.	39 %	Erhöhg.					
3	s.s.	32 %	Erhöhg.	IFs.s.				
Fehleranzahl, Stufe ...								
1	s.s.	55 %	Erhöhg.	IFs.				
2	s.s.	49 %	Erhöhg.	Fs., IFs.				
3	s.s.	30 %	Erhöhg.	Fs., IFs.				

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung

Variable	Simulator				Straße			
	Signifi- kanz	Effekt- größe	Rich- tung des Effektes	Sonsti- ge Sig- nifikan- zen	Signifi- kanz	Effekt- größe	Rich- tung des Effektes	Sonsti- ge Sig- nifikan- zen
Unsicheres Spurhalten – Zeit bis Rand rechts								
Fehlerdauer, Stufe ...								
1	s.s.	31 %	Erhöhg.					
2	s.s.	29 %	Erhöhg.					
3	n.s.	4 %	-----					
Fehleranzahl, Stufe ...								
1	s.s.	49 %	Erhöhg.					
2	s.s.	42 %	Erhöhg.					
3	s.s.	15 %	Erhöhg.					
Unsicheres Spurhalten – Zeit bis Rand links und rechts								
Fehlerdauer, Stufe ...								
1	s.s.	48 %	Erhöhg.	Ss.s., lfs.				
Fehleranzahl, Stufe ...								
1	s.s.	60 %	Erhöhg.	Ss.s., lfs.				
Spur verlassen links								
Fehlerdauer, Stufe ...								
1	s.	10 %	Erhöhg.					
2	s.s.	13 %	Erhöhg.					
3	n.s.	1 %	-----					
Fehleranzahl, Stufe ...								
1	s.s.	20 %	Erhöhg.					
2	s.s.	14 %	Erhöhg.					
3	n.s.	0 %	-----					
Spur verlassen rechts								
Fehlerdauer, Stufe ...								
1	n.s.	0 %	-----	Fs.				
2	n.s.	3 %	-----					
3	n.s.	3 %	-----					
Fehleranzahl, Stufe ...								
1	s.	9 %	Erhöhg.					
2	n.s.	6 %	-----					
3	n.s.	5 %	-----					
Spur verlassen links und rechts								
Fehlerdauer, Stufe ...								
1	n.s.	2 %	-----	Ss.s.				
Fehleranzahl, Stufe ...								
1	s.s.	19 %	Erhöhg.	Ss.				
Standardabweichung Spur – tiefpassgefiltert								
	s.s.	38 %	Erhöhg.					
Abstand von Spurmitte								
	s.	9 %	Erhöhg.					

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung

Variable	Simulator				Straße			
	Signifi- kanz	Effekt- größe	Rich- tung des Effektes	Sonsti- ge Sig- nifikan- zen	Signifi- kanz	Effekt- größe	Rich- tung des Effektes	Sonsti- ge Sig- nifikan- zen
Zu geringer Seitenabstand zu anderen Fahrzeugen								
Fehleranzahl, Stufe ...								
1	s.	9 %	Erhöhg.					
2	s.s.	12 %	Erhöhg.					
3	n.s.	1 %	-----					
Blickabwendungen von der Straße zu lange oder zu häufig								
Zeitanteil Fixation außer- halb Straße	s.s.	73 %	Erhöhg.	IFs.	s.s.	62 %	Erhöhg.	IFs.s.
Durchschnittliche Fixations- dauer außerhalb Straße	n.s.	0 %	-----		s.s.	21 %	Erhöhg.	
Fehleranzahl, Stufe ...								
1	s.s.	50 %	Erhöhg.		s.s.	20 %	Erhöhg.	
2	s.s.	51 %	Erhöhg.		s.	10 %	Erhöhg.	
3	s.s.	36 %	Erhöhg.	IFs.s.	n.s.	1 %	-----	
Querbeschleunigung zu hoch								
Fehlerdauer, Stufe ...								
1	s.s.	26 %	Redukt.		s.s.	24 %	Redukt.	Fs.s.
2	s.	10 %	Redukt.		s.s.	15 %	Redukt.	
3	s.s.	12 %	Redukt.		s.s.	13 %	Redukt.	
Fehleranzahl, Stufe ...								
1	s.	8 %	Redukt.		s.s.	15 %	Redukt.	Fs.s.
2	n.s.	3 %	-----		s.s.	17 %	Redukt.	
3	n.s.	3 %	-----		s.s.	13 %	Redukt.	
Zu lange Reaktionszeit bei plötzlich auftauchendem Hindernis								
Mittelwert Fehlerstufen	n.s.							
Bremsverzögerung zu hoch								
Fehlerdauer, Stufe ...								
1					n.s.	5 %	-----	
2					n.s.	1 %	-----	
3					n.s.	0 %	-----	
Fehleranzahl, Stufe ...								
1					n.s.	2 %	-----	
2					n.s.	0 %	-----	
3					n.s.	1 %	-----	
Fahrbeschleunigung zu hoch								
Fehlerdauer, Stufe ...								
1					n.s.	5 %	-----	
2					n.s.	0 %	-----	
3					n.s.	0 %	-----	
Fehleranzahl, Stufe ...								
1					s.	9 %	Redukt.	
2					n.s.	0 %	-----	
3					n.s.	2 %	-----	

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung

Variable	Simulator				Straße			
	Signifi- kanz	Effekt- größe	Rich- tung des Effektes	Sonsti- ge Sig- nifikan- zen	Signifi- kanz	Effekt- größe	Rich- tung des Effektes	Sonsti- ge Sig- nifikan- zen
Bedienung Gaspedal								
Stellung Gaspedal ...								
Mittelwert					s.s.	48 %	Redukt.	
Standardabweichung					s.s.	70 %	Redukt.	
Standardabweichung tief- passgefiltert					s.s.	31 %	Redukt.	
Zahl Ausschläge pro Se- kunde					s.s.	24 %	Erhöhg.	IFs.
Doppelte Amplitude Aus- schläge					s.s.	36 %	Redukt.	
Ampelsignal mißsachten								
Bremsreaktionszeit auf Gelb, wenn angehalten wurde	n.s.							
Überfahren des Rotlichts – Mittelwert Fehlerstufen	s.		Erhöhg.					
Lenkbewegungen								
Lenkwinkel ...								
Zahl der Ausschläge	s.s.	59 %	Erhöhg.	Fs.s.	s.s.	25 %	Erhöhg.	Fs.s.
Doppelte Amplitude der Ausschläge	s.s.	58 %	Erhöhg.	Fs.s.	n.s.	6 %	-----	
90. Zentil/mittl. Zentilabst. der Nakayama-Verteilung	s.s.	79 %	Erhöhg.	Fs.s., IFs.s.	s.s.	73 %	Erhöhg.	
Nakayama-Standardabwei- chung	s.s.	73 %	Erhöhg.	Fs.s., IFs.s.	s.s.	56 %	Erhöhg.	
Nakayama-Varianz	s.s.	55 %	Erhöhg.	Fs.s., IFs.s.	s.s.	47 %	Erhöhg.	
Fahrlehrerurteile								
Mittelwert Sicherheitsurteil	s.s.	88 %	Redukt.	IFs.	s.s.	81 %	Redukt.	
Fehlerzahlen ...								
Geschwindigkeit zu niedrig	s.s.	73 %	Erhöhg.		s.s.	45 %	Erhöhg.	Fs.s. IFs.s.
Seitenabstand zu gering	s.s.	56 %	Erhöhg.		s.s.	75 %	Erhöhg.	Fs.
Unsicheres Spurhalten	s.s.	81 %	Erhöhg.	Fs.s., IF s.s.	s.s.	80 %	Erhöhg.	Fs.s. IFs.s.
Subjektive Einschätzung der mentalen Beanspruchung (RSME)								
Mittelwert subjektive Ein- schätzung	s.s.	70 %	Erhöhg.		s.s.	70 %	Erhöhg.	Fs.s. IFs.s.
Situationsbewusstsein (Situation Awareness)								
Anzahl richtig erinnertes Warnzeichen	s.s.	42 %	Redukt.		Messung misslungen, s. Text			

Zeichenerklärung: s.: Signifikanzniveau $\alpha = 5\%$ erreicht. s.s.: Signifikanzniveau $\alpha = 1\%$ erreicht.
 Fs. bzw. Fs.s.: Haupteffekt Fahrt signifikant bzw. sehr signifikant. IFs. bzw. IFs.s.: Interaktion
 Fahrt x Variable signifikant bzw. sehr signifikant. Ss. bzw. Ss.s.: Haupteffekt Seite (linke, rechte
 Fahrbahnspur) signifikant bzw. sehr signifikant. Zelle hellgrau hinterlegt: Variable wurde nicht
 erfasst.

Tabelle 26. Die Ergebnisse des Straßenversuchs: Vergleich Fahrten ohne und mit ACC

Variable	Bedienung			ACC			
	Signifi- kanz	Effekt- größe	Richtung des Effektes	Signifi- kanz	Effekt- größe	Richtung des Effektes	Bedie- nung x ACC
Überschreiten der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit							
Fehlerdauer, Stufe ...							
1	s.	31 %	Redukt.	n.s.	0 %	----	n.s.
2	n.s.	3 %	----	s.	32 %	Redukt.	n.s.
3	n.s.	7 %	----	n.s.	20 %	----	n.s.
Fehleranzahl, Stufe ...							
1	n.s.	0 %	----	s.	38 %	----	n.s.
2	n.s.	18 %	----	s.	32 %	Redukt.	n.s.
3	n.s.	4 %	----	n.s.	12 %	----	n.s.
Längsabstand zu gering für eigene Geschwindigkeit							
Fehlerdauer, Stufe ...							
1	n.s.	1 %	----	s.s.	52 %	Erhöhg.	n.s.
2	s.	29 %	Redukt.	s.s.	54 %	Redukt.	n.s.
3	n.s.	2 %	----	s.s.	56 %	Redukt.	n.s.
Fehleranzahl, Stufe ...							
1	n.s.	2 %	----	s.	27 %	Erhöhg.	n.s.
2	n.s.	0 %	----	s.s.	42 %	Redukt.	n.s.
3	n.s.	18 %	----	s.s.	60 %	Redukt.	n.s.
Längsabstand zu gering für Differenzgeschwindigkeit							
Fehlerdauer, Stufe ...							
1	n.s.	10 %	----	n.s.	10 %	----	n.s.
2	n.s.	9 %	----	n.s.	3 %	----	n.s.
3	----		----	----		----	----
Fehleranzahl, Stufe ...							
1	n.s.	8 %	----	n.s.	1 %	----	n.s.
2	n.s.	2 %	----	n.s.	3 %	----	n.s.
3	----		----	----		----	----
Blickabwendungen von der Straße zu lange oder zu häufig							
Zeitanteil Fixation außer- halb Straße	s.s.	68 %	Erhöhg.	n.s.	4 %	----	n.s.
Durchschnittliche Fixati- onsdauer außerhalb Straße	s.s.	50 %	Erhöhg.	n.s.	6 %	----	n.s.
Fehleranzahl, Stufe ...							
1	s.	28 %	Erhöhg.	n.s.	5 %	----	n.s.
2	n.s.	17 %	----	n.s.	4 %	----	n.s.
3	n.s.	17 %	----	n.s.	1 %	----	n.s.
Querbeschleunigung zu hoch							
Fehlerdauer, Stufe ...							
1	s.	35 %	Redukt.	n.s.	14 %	----	n.s.
2	n.s.	8 %	----	n.s.	2 %	----	n.s.
3	n.s.	6 %	----	n.s.	3 %	----	n.s.
Fehleranzahl, Stufe ...							
1	s.	38 %	Redukt.	n.s.	16 %	----	n.s.
2	n.s.	17 %	----	n.s.	1 %	n.s.
3	n.s.	6 %	----	n.s.	0 %	----	n.s.

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung

Variable	Bedienung			ACC			
	Signifi- kanz	Effekt- größe	Richtung des Effektes	Signifi- kanz	Effekt- größe	Richtung des Effektes	Bedie- nung x ACC
Bremsverzögerung zu hoch							
Fehlerdauer, Stufe ...							
1	n.s.	5 %	----	s.	34 %	Erhöhg.	n.s.
2	n.s.	7 %	----	n.s.	24 %	----	n.s.
3	n.s.	0 %	----	n.s.	4 %	----	n.s.
Fehleranzahl, Stufe ...							
1	n.s.	2 %	----	s.s.	45 %	Erhöhg.	n.s.
2	n.s.	10 %	----	s.s.	53 %	Erhöhg.	n.s.
3	n.s.	6 %	----	n.s.	15 %	----	n.s.
Fahrbeschleunigung zu hoch							
Fehlerdauer, Stufe ...							
1	n.s.	0 %	----	s.s.	73 %	Redukt.	n.s.
2	n.s.	1 %	----	n.s.	4 %	----	n.s.
3	n.s.	1 %	----	n.s.	1 %	----	n.s.
Fehleranzahl, Stufe ...							
1	n.s.	8 %	----	s.s.	86 %	Redukt.	n.s.
2	n.s.	4 %	----	n.s.	16 %	----	n.s.
3	n.s.	4 %	----	n.s.	4 %	----	n.s.
Bedienung Gaspedal: Vergleich der Fahrten ohne und mit ACC nicht sinnvoll, da die Fahrt bei regelndem ACC immer mit der Gaspedalstellung 0 einhergeht							
Lenkbewegungen							
Lenkwinkel ...							
Zahl der Ausschläge	s.s.	43 %	Erhöhg.	s.s.	60 %	Erhöhg.	n.s.
Doppelte Amplitude der Ausschläge	s.s.	53 %	Erhöhg.	s.s.	51 %	Redukt.	n.s.
90. Zentil/mittl. Zentilabst. der Nakayama-Verteilung	s.s.	89 %	Erhöhg.	n.s.	22 %	----	n.s.
Nakayama-Standardabweichung	s.s.	72 %	Erhöhg.	n.s.	1 %	----	n.s.
Nakayama-Varianz	s.s.	49 %	Erhöhg.	n.s.	3 %	----	n.s.
Fahrlehrerurteile							
Mittelwert Sicherheitsurteil	s.s.	81 %	Redukt.	n.s.	3 %	----	n.s.
Fehlerzahlen ...							
Geschwindigkeit zu niedrig	s.s.	41 %	Erhöhg.	s.s.	46 %	Redukt.	s.s.
Längsabstand zu gering für Geschwindigkeit	n.s.	0 %	----	s.s.	40 %	Redukt.	n.s.
Seitenabstand zu gering	s.s.	68 %		s.s.	60 %	Redukt.	n.s.
Unsicheres Spurhalten	s.s.	83 %	Erhöhg.	s.s.	71 %	Redukt.	n.s.
Subjektive Einschätzung der mentalen Beanspruchung (RSME)							
Mittelwert subjektive Einschätzung	s.s.	48 %	Erhöhg.	s.	28 %	Redukt.	s.s.

Zeichenerklärung: s.: Signifikanzniveau $\alpha = 5\%$ erreicht. s.s.: Signifikanzniveau $\alpha = 1\%$ erreicht.

9.1 Zusammenfassende Interpretation, Fahrten ohne ACC

Die Eingabe in das Navigationssystem führt zum langsameren Fahren. Das bildet sich in alle Längsführungsvariablen, *Überschreitung der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit*, *Längsabstand zu gering für eigene Geschwindigkeit* und *Längsabstand zu gering für Differenzgeschwindigkeit* hinein ab. Beim Überschreiten der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit sind diese Effekte im Simulator und auf der Straße etwa gleich groß. Bei den beiden anderen Variablen sind die Effekte auf der Straße geringer. Das könnte damit zusammenhängen, dass das Abstandsradar weniger und weniger genaue Werte liefert als die Simulatorsoftware. Fehlerdauer und Fehlerzahl zeigen diese Effekte in etwa gleicher Weise. Die höchsten Werte der Effektgröße ergeben sich bei den niedrigsten Fehlerstufen. Diese Ergebnisse sind als Verbesserung der Sicherheit während der Bedienung im Bereich der Längsführung zu interpretieren.

Bei den Variablen der Querverführung führt die Eingabe in das Navigationssystem zur Erhöhung von Fehlerdauer und Fehlerzahl auf nahezu allen abhängigen Variablen. Ein sehr gutes Maß ist hier die Zeit bis zum Rand, tlc. Das Spurverlassen wird weniger stark beeinflusst. Auch hier ergeben sich die stärksten Effekte bei den niedrigsten Fehlerstufen. Die Wirkungen sind auf der linken Straßenseite stärker als auf der rechten und korrelieren zwischen beiden Seiten nur wenig. Bei Sicherheitsstudien sollte deshalb die Spurhaltung links und rechts getrennt analysiert werden. Eine deutliche Effektgröße zeigt auch die Standardabweichung der Spur gegenüber ihrem eigenen, tiefpassgefilterten Verlauf. Weniger ergiebig sind der Seitenabstand zu anderen Fahrzeugen und der durchschnittliche Betrag des Abstands zur Spurmitte. Die Versuchsergebnisse bedeuten eine Verschlechterung der Sicherheit während der Bedienung. Die Querverführung ist einer der wichtigsten Sicherheitsindikatoren bei ablenkenden Handlungen. Sie sollte daher auch, abweichend vom vorliegenden Projekt, trotz des erheblichen messtechnischen Aufwandes bei Straßenversuchen nicht ausgelassen werden.

Die Quereschleunigung ist eher eine Geschwindigkeits- als eine Querverführungsvariable. Sie weist eine massive Reduktion der Fahrfehler unter der Bedieninstruktion auf, hat als Variable also ähnliche Eigenschaften wie die Längsführungsvariablen.

Der Zeitanteil der Fixationen außerhalb der Straße ist unter der Bedienung massiv erhöht. Beim Vergleich mit einer Kontrollbedingung *ohne Bedienung* ist das nicht sonderlich informativ. Sehr wichtig dürfte hier aber der Vergleich zwischen verschiedenen zu bedienenden Systemen sein. Die Fehlerstufenrechnung für zu lange Fixationen außerhalb der Straße hat sich im Simulator- wie im Straßenversuch bewährt. Sie demonstriert eine deutliche Sicherheitsminderung *mit Bedienung*.

Bei der Reaktion auf das Ampelsignal zeigt die Tabelle eine auf 5 %-Niveau signifikante Verschlechterung *mit Bedienung*. Der Schaltzeitpunkt auf Gelb war so eingestellt, dass der Fahrer sowohl mit mittlerer Bremsverzögerung anhalten, als auch bei zügiger Fahrt fehlerfrei, also noch innerhalb der Gelbphase, die Ampel passieren konnte. Die genauere Analyse der Daten ergibt, dass sich die Proportion der Fahrer, die die beiden Alternativen wählen, *mit Bedienung* nicht geändert hat. Die erhöhte Fehlerzahl beruht allein darauf, dass diejenigen, die noch fahren, langsamer fahren und daher mehr Rotlichtverstöße begehen. Es ist also die langsamere Fahrt *mit Bedienung* und nicht eine veränderte Entscheidung zwischen Anhalten und Durchfahren, die an der Ampel die Fehlerzahl steigen lässt.

Die hier vorgeschlagene Fehlerstufenrechnung bei Bremsverzögerung und Fahrbeschleunigung hat im Straßenversuch keine signifikanten Wirkungen der unabhängigen Variablen gezeigt. Der Versuch, damit weitere Indikatoren für die Fahrsicherheit zu finden, verspricht weniger Erfolg. Anders ist dies nur bei der Betätigung des Gaspedals. Diese Variablen sollten jedoch bis auf weiteres bei Anwendungen des Verfahrens verwendet werden, um ihre Aussagekraft in Zukunft mit einer breiteren Datenbasis beurteilen zu können.

Bei den Lenkbewegungen wurden zwei relativ grobe, deskriptive Maße berechnet: Die Zahl der Ausschläge pro Sekunde und die doppelte Amplitude der Lenkausschläge (engl. *peak to peak*). Im Simulatorversuch zeigen beide, im Straßenversuch nur erstere eine deutliche Erhöhung mit *Bedienung*. Die doppelte Amplitude erreicht hier nicht die Signifikanzschranke. Darüber hinaus wurden die Nakayama-Verteilungen bestimmt (s. Abschnitt 4.3.3) und für diese die gebräuchlichen statistischen Kenngrößen *mittlerer Dezilabstand*, *Standardabweichung*, *Varianz*, *Schiefte* und *Exzess* berechnet. Wegen ungünstiger statistischer Eigenschaften wurden *Schiefte* und *Exzess* nicht weiter berücksichtigt. Die sog. Lenkentropie nach Nakayama et al. (1999) wurde, wie oben begründet, nicht ausgewertet. Die verwendeten Maße zeigen hoch signifikante Unterschiede mit beträchtlichen Effektgrößen zwischen den Versuchsbedingungen an.

Das abschnittsweise globale Sicherheitsurteil der Fahrlehrerin spricht sehr gut auf die Versuchsbedingung *mit Bedienung* an. Es konstatiert eine Verschlechterung der Sicherheit. Von den 19 Fahrfehlerkategorien erreichten nur drei, *Geschwindigkeit zu niedrig für Verkehrssituation*, *Seitenabstand zu gering* und *unsicheres Spurhalten* eine für Signifikanztests ausreichende Zahl von Nennungen. In allen dreien führte die Versuchsbedingung *mit Bedienung* zu einer erheblichen Verschlechterung.

Die subjektive Einschätzung der mentalen Belastung (RSME) zeigt im Simulator wie auf der Straße eine deutliche Erhöhung mit einer in beiden Fällen gleichen Effektgröße. Der in diesem Projekt neue Vorschlag, das Situationsbewusstsein mit einem für die V_p unerwarteten Wiedererkennungstest für Verkehrsschilder nach der Fahrt zu messen, hat sich im Simulatorversuch bewährt. Das scheint aber daran gebunden zu sein, dass diese Schilder nach Versuchsplan willkürlich aufgestellt werden können. Die Verteilung der Verkehrsschilder auf den öffentlichen Straßen erlaubt diesen Test in unveränderter Form nicht. Die für den Straßenversuch entwickelte Alternative einer fotogestützten Abfrage von statischen und dynamischen Merkmalen einzelner Verkehrssituationen hat kein brauchbares Messresultat geliefert, dürfte aber entwicklungsfähig sein.

9.2 Zusammenfassende Interpretation, Fahrten mit ACC

Die zusammengefassten Ergebnisse für den Straßenversuch *ohne* und *mit Bedienung* sowie *ohne* und *mit ACC* zeigt Tabelle 26. Die linken drei Hauptspalten geben die Haupteffekte der unabhängigen Variablen *Bedienung*, die rechten vier Hauptspalten die Haupteffekte der unabhängigen Variablen *ACC* und deren Wechselwirkungen mit *Bedienung* an.

Die Resultate für *Bedienung* gleichen im Wesentlichen denen aus dem Straßenversuch *ohne ACC*.

Die Verwendung des ACC führt zu einer signifikanten Reduktion der Längsführungsfehler. Interessant ist der gegenläufige Effekt bei *Längsabstand zu gering für eigene Geschwindigkeit*. Hier liegt bei Fehlerstufe 1 eine massive Verschlechterung, bei den höheren Fehlerstufen 2 und 3 eine ebenso massive Verbesserung vor. Darin zeigt sich eine Eigenschaft der ACC-Regelung mit den hier gewählten Parametern. Beim automatischen Heranfahen an ein langsames Vorderfahrzeug kommt es zu Abständen, die schon unter die Fehlerdefinition der Stufe 1 fallen und damit zu einer massiven Erhöhung dieser Fehlerhäufigkeiten führen. Abstandsfehler der Stufe 2 oder 3 macht die automatische Regelung offenbar nicht, weshalb deren Häufigkeit in der Fahrt mit ACC ebenso massiv zurückgeht. Bei der Variablen *Längsabstand zu gering für Differenzgeschwindigkeit (ttc)* verhält sich die Regelung offenbar so, dass keine Fehlerstufengrenzen des Bewertungsverfahrens erreicht werden.

Die in den anderen Versuchen unauffällige abhängige Variable *Fahrbeschleunigung zu hoch* zeigt jetzt zwei hohe Signifikanzen bei der Fehlerstufe 1: ACC beschleunigt sanfter als viele V_{pn} , die bei der Fahrt ohne ACC die hohen Beschleunigungsreserven des Versuchsfahrzeugs auch nutzen.

Die beiden Tabellen sollten eine zusammenfassende Übersicht über die Einzelresultate aller abhängigen Variablen in beiden Experimenten geben. Die unabhängigen Versuchsvariablen haben demnach deutliche Auswirkungen auf die abhängigen Variablen gezeigt. Damit ist die Grundlage dafür gesichert, die Resultate von Experimenten dieser Art zu Skalen zu verrechnen, die die Auswirkungen von FIS/FAS-Systemen auf die Fahrsicherheit in wenigen Kenngrößen repräsentieren. Der Entwicklung dieser Skalen widmen sich die folgenden Abschnitte.

10 Die Entwicklung des Bewertungsverfahrens

Die Experimente enthielten eine beträchtliche Anzahl abhängiger Variablen. Durch die Zuordnung der vier Fehlerstufen von $0 = \text{kein Fehler}$ bis $3 = \text{schwerer Fehler}$ werden in den Verteilungen der abhängigen Variablen jeweils vier Maßzahlklassen gebildet, von denen die beiden äußeren $\{0, 3\}$ offen sind. Da bei 4 Klassen die Zahl der Freiheitsgrade für die Klassenhäufigkeiten 3 beträgt, genügt es für die Auswertung, nur die Häufigkeiten der Fehlerstufen von 1 bis 3 zu berücksichtigen. Eine Häufigkeitsauswertung der Fehlerstufe 0 trägt keine zusätzliche Information bei und kann daher unterbleiben. Zählt man für jede Fehlerstufe Dauer und Episodenzahl aus, so erhält man für jede abhängige Variable 6 Werte. Für deren Einzeldarstellung und Analyse wurden wesentliche Teile des Umfangs dieses Berichtes verwendet. Zur Gewinnung weniger, klar aussagefähiger Skalen muss die damit gegebene Komplexität massiv reduziert werden. Ein erster Schritt dazu besteht in der Zusammenfassung dieser 6 Werte je abhängiger Variablen zu einer einzigen Maßzahl. Die naheliegende Vorgehensweise ist die Linearkombination, deren Eigenschaften mit der Wahl von Gewichten gesteuert werden können. Wählt man für alle Summanden den gleichen Gewichtungsfaktor 1, entsteht die Summe. Dividiert man diese noch durch 6, entsteht das arithmetische Mittel. Wählt man ungleiche Gewichte, so entsteht eine gewichtete Summe, und bei deren Division durch die Summe der Gewichte ein gewogenes arithmetisches Mittel.

Da die Fehlerstufen den einzelnen Maßzahlklassen der abhängigen Variablen als Werte für die Schwere der Fehler zugeordnet sind, scheint es sich zu empfehlen, diese auch als Gewichte bei der Linearkombination der Werte für Dauer und Episodenzahl der einzelnen Fehlerstufen zu verwenden. So wurde auch bei der Aggregation der Daten für die einzelnen Gefährdungsstufen im Vorgängerprojekt verfahren (IVI & TUD, 2005, S. 165). Werden mehrere Variablen durch Linearkombination zu einem Summen- oder Durchschnittsscore zusammengezogen, so bietet Cronbachs α ein Maß für die Reliabilität (statistische Zuverlässigkeit) des Resultates. In Tabelle 25 und in Tabelle 26 fällt auf, dass die Effektgrößen mit steigenden Fehlerstufen abnehmen. Das gilt auch für die Signifikanztests: Bei den meisten Variablen wächst die Überschreitungswahrscheinlichkeit mit den Fehlerstufen. Die Effekte, die das Bewertungsverfahren erkennen soll, zeigen sich also am stärksten bei den niedrigsten Fehlerstufen. Für die jetzt zu berechnenden Summenscores haben wir deshalb die Werte für Cronbachs α stichprobenweise überprüft. Diese Werte sind durchgängig hoch, oft über 0,800. In den meisten Fällen tragen die hohen Fehlerstufen, vor allem die Fehlerstufe 3, zu diesem Wert sehr wenig oder sogar in Richtung auf eine Verminderung bei. Bei einigen abhängigen Variablen haben wir auch die α für ungewichtete und mit den Fehlerstufen gewichteten Summen verglichen. Die ungewichteten Summen erbrachten oft, aber nicht ganz ausnahmslos, die höheren Werte für α . Wir entschieden deshalb, als erste Stufe der Komplexitätsreduktion bei jeder abhängigen Variablen die ungewichtete Summe aus der Dauer und die ungewichtete Summe der Episodenzahl aus beiden Fahrten und allen drei Fehlerstufen als Ausgangswerte für die weiteren Berechnungen zu verwenden. Außerdem wurden diese Summen noch bei den Fehlerdauern in Promille der individuellen Fahrdauer, bei den Fehlerzahlen in Fehler pro 1000 s Fahrzeit normiert.

Die so gewonnenen Maßzahlen wurden einer Faktorenanalyse mit Hauptkomponenten-Extraktion und Varimax-Rotation unterzogen. Das Scree-Plot für den Simulatorversuch zeigt Abbildung 131, die rotierte Faktorenmatrix enthält Tabelle 27. Das Scree-Plot legt eine Lösung mit 7 bis 9 Faktoren nahe. Im Vergleich mit den anderen Lösungen sind die Faktoren der Siebenfaktorenlösung inhaltlich am besten interpretierbar. Ihre Bedeutungen sind in Tabelle 28 zusammengestellt. Die höchste Ladung jeder Variablen ist dabei farbig markiert.

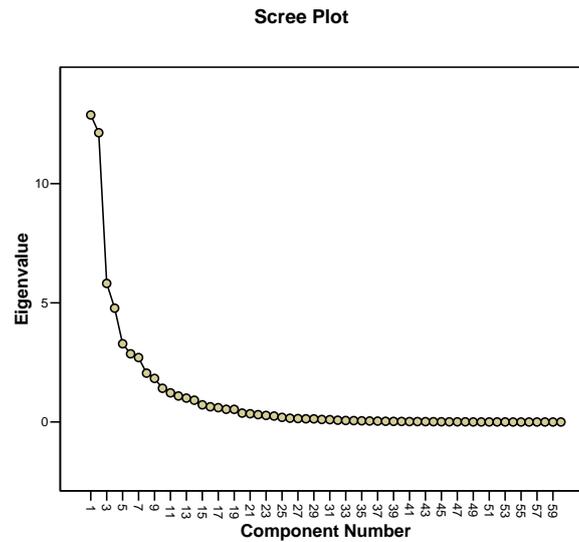


Abbildung 131. Scree-Plot der Faktorenanalyse der abhängigen Variablen im Simulatorversuch

Tabelle 27. Rotierte Faktorenmatrix für die abhängigen Variablen im Simulatorversuch. Anmerkung: *abschmo = 1* entspricht mit Bedienung, *abschmo = 2* entspricht ohne Bedienung

Abhängige Variable	Component							h_i^2
	1	2	3	4	5	6	7	
v_t1 Geschwindigkeit v Fehlerdauer Promille der Zeit <i>abschmo = 1</i>	,760	,124	-,214		-,162		-,142	,686
v_t2 Geschwindigkeit v Fehlerdauer Promille der Zeit <i>abschmo = 2</i>	,564	,422			-,251	,149	-,139	,608
v_w1 Geschwindigkeit v Fehlerzahl pro 1000 s <i>abschmo = 1</i>	,787	,145	-,194		-,195		-,139	,737
v_w2 Geschwindigkeit v Fehlerzahl pro 1000 s <i>abschmo = 2</i>	,649	,412			-,229	,239		,709
th_t1 Längsabstand th Fehlerdauer Promille der Zeit <i>abschmo = 1</i>	,844					-,106		,742
th_t2 Längsabstand th Fehlerdauer Promille der Zeit <i>abschmo = 2</i>	,878							,785
th_w1 Längsabstand th Fehlerzahl pro 1000 s <i>abschmo = 1</i>	,877					-,112		,799
th_w2 Längsabstand th Fehlerzahl pro 1000 s <i>abschmo = 2</i>	,916					,108		,864
ttc_t1 Zeit bis Kollision ttc Fehlerdauer Promille der Zeit <i>abschmo = 1</i>	,737					,100		,578
ttc_t2 Zeit bis Kollision ttc Fehlerdauer Promille der Zeit <i>abschmo = 2</i>	,753	,126		-,132		,232		,667
ttc_w1 Zeit bis Kollision ttc Fehlerzahl pro 1000 s <i>abschmo = 1</i>	,822						,155	,713
ttc_w2 Zeit bis Kollision ttc Fehlerzahl pro 1000 s <i>abschmo = 2</i>	,737	,104		-,177		,237	,128	,667

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung

li_t1 Zeit bis Rand links Fehlerdauer Promille der Zeit abschmo = 1		,689			,526	,354		,884
li_t2 Zeit bis Rand links Fehlerdauer Promille der Zeit abschmo = 2	,128	,923	,115	,110				,906
li_w1 Zeit bis Rand links Fehlerzahl pro 1000 s abschmo = 1		,654			,573	,352		,889
li_w2 Zeit bis Rand links Fehlerzahl pro 1000 s abschmo = 2	,198	,912		,163				,919
re_t1 Zeit bis Rand rechts Fehlerdauer Promille der Zeit abschmo = 1	,117		,779		,270	,330		,814
re_t2 Zeit bis Rand rechts Fehlerdauer Promille der Zeit abschmo = 2			,914	,134				,863
re_w1 Zeit bis Rand rechts Fehlerzahl pro 1000 s abschmo = 1	,121		,805	,148	,273	,241		,821
re_w2 Zeit bis Rand rechts Fehlerzahl pro 1000 s abschmo = 2			,920	,133				,874
liv_t1 Spur verlassen links Fehlerdauer Promille der Zeit abschmo = 1		,853			,272			,816
liv_t2 Spur verlassen links Fehlerdauer Promille der Zeit abschmo = 2	,127	,890			-,184			,857
liv_w1 Spur verlassen links Fehlerzahl pro 1000 s abschmo = 1		,795	,102		,341	,214	,111	,818
liv_w2 Spur verlassen links Fehlerzahl pro 1000 s abschmo = 2	,299	,829			-,233			,846
rev_t1 Spur verlassen rechts Fehlerdauer Promille der Zeit abschmo = 1	-,148	,174	,846				,198	,823
rev_t2 Spur verlassen rechts Fehlerdauer Promille der Zeit abschmo = 2	-,131		,821	,171		-,254	,144	,811
rev_w1 Zahl Spur verlassen rechts Fehlerzahl pro 1000 s abschmo = 1		,194	,827		,127		,174	,771
rev_w2 Zahl Spur verlassen rechts Fehlerzahl pro 1000 s abschmo = 2			,866	,117		-,155	,109	,813
sab_w1 Seitenabstand Fehlerzahl pro 1000 s abschmo = 1	,216	,629			,404	,249		,676
sab_w2 Seitenabstand Fehlerzahl pro 1000 s abschmo = 2	,389	,376			,348		-,186	,467
sqa_1 Standardabweichung Spur abschmo = 1		,115		,214	,235	,521		,395
sqa_2 Standardabweichung Spur abschmo = 2		,115		,214	,233	,520		,394
eor_r1 Zeitanteil EOR Promille abschmo = 1	-,123		,178				,827	,746
eor_r2 Zeitanteil EOR Promille abschmo = 2	,104		,171	,370		-,242	,723	,764
eor_f1 Fixationsdauer OR zu lang Fehlerzahl pro 1000 s abschmo = 1			,132		-,108	,120	,790	,672
eor_f2 Fixationsdauer OR zu lang Fehlerzahl pro 1000 s abschmo = 2	,128		,164	,368		-,337	,712	,808
q_t1 Querbeschleunigung Fehlerdauer Promille der Zeit abschmo = 1	,450	,373		-,125	-,134	,515		,649
q_t2 Querbeschleunigung Fehlerdauer Promille der Zeit abschmo = 2	,438	,294	,337		-,223	,443	-,137	,659
q_w1 Querbeschleunigung Fehlerzahl pro 1000 s Fahrt abschmo = 1	,535	,391				,611		,830
q_w2 Querbeschleunigung Fehler pro 1000 s Fahrt abschmo = 2	,457	,187	,225	,287	-,122	,618	-,174	,804
a_fst1 Ampelfehler abschmo = 1	-,195		,323	,148	-,184	,531		,484
a_fst2 Ampelfehler abschmo = 2	-,348		,264	,170	-,200	,200	,275	,375
vw_n1 Zahl der Ausschläge pro Sekunde abschmo = 1	-,280		,164	,807		-,331		,875
vw_n2 Zahl der Ausschläge pro Sekunde abschmo = 2	-,130			,899			-,171	,862

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung

vw_d1 Doppelte Amplitude der Ausschläge abschmo = 1	,187	,161		,220	,433	,645	,214	,760
vw_d2 Doppelte Amplitude der Ausschläge abschmo = 2	,198	,131		-,140		,524	,461	,573
id_1 Interdezilabstand Nakayma Verteilung abschmo = 1			,199	,869	,289	,113	,181	,931
id_2 Interdezilabstand Nakayma Verteilung abschmo = 2				,916		,155	,130	,895
ls_1 Nakayama-Standardabweichung abschmo = 1			,243	,779	,333	,132		,817
ls_2 Nakayama-Standardabweichung abschmo = 2				,890		,278	,195	,917
lv_1 Nakayama-Standardabweichung abschmo = 1	-,104		,268	,749	,334			,772
lv_2 Nakayama-Standardabweichung abschmo = 2				,852		,322	,217	,884
frlu_1 Sicherheitsurteil Fahrlehrer abschmo = 1	-,277	,226	,269	,181	,648	,247		,715
frlu_2 Sicherheitsurteil Fahrlehrer abschmo = 2		,486	,303	,231	,505	,116	,135	,676
frl5_1 Fahrlehrer Zahl Fahrfehler f5 pro 1000 s Fahrt abschmo = 1	-,754		,174		,246	,168	,137	,707
frl5_2 Fahrlehrer Zahl Fahrfehler f5 pro 1000 s Fahrt abschmo = 2	-,600	-,183	,194	-,104	,320	-,171	,180	,606
frl9_1 Fahrlehrer Zahl Fahrfehler f9 pro 1000 s Fahrt abschmo = 1	-,232				,768		-,124	,665
frl9_2 Fahrlehrer Zahl Fahrfehler f9 pro 1000 s Fahrt abschmo = 2	-,165			,105	,644	-,216		,513
frl10_1 Fahrlehrer Zahl Fahrfehler f10 pro 1000 s Fahrt abschmo = 1	-,119			,260	,751	,308		,748
frl10_2 Fahrlehrer Zahl Fahrfehler f10 pro 1000 s Fahrt abschmo = 2	-,243	,385	,117	,296	,652			,738

Tabelle 28. Die sieben Faktoren für die abhängigen Variablen im Simulatorversuch und ihre Bedeutung

Faktor Nummer	Varianzanteil nach der Rotation %	Bedeutung
1	17,1	Längsführung, Geschwindigkeit, Längsabstand
2	12,5	Spurhaltung links
3	11,5	Spurhaltung rechts
4	11,5	Lenkbewegungen
5	8,6	Sicherheitsurteil Fahrlehrerin
6	7,5	Querbewegung, Standardabweichung Spurhaltung, Amplitude Lenkausschläge
7	5,5	Blickbewegungen
	Summe 74,2	

Diese Resultate sind wie folgt zu interpretieren. Längsführung etabliert sich klar als ein einziger Faktor. Sowohl die Fahrfehler bei der *Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit* als auch diejenigen bei den Abstandsvariablen *th* und *ttc* haben hier ihre höchsten Ladungen. Bei der *Spurhaltung* trennen sich die linke und die rechte Seite in zwei Faktoren auf. Beide Seiten der Straße sollten also bei der Analyse der Spurhaltung getrennt untersucht und interpretiert werden. Die Lenkbewegungsvariablen bilden mit Ausnahme der doppelten Amplitude der Lenkausschläge einen gemeinsamen Faktor. Sehr hohe Ladungen erzielen dabei die Kenngrößen der Nakayama-

Verteilungen. Diese sind durch eine nach Zufall variierende sehr große Anzahl kleiner und eine kleine Anzahl sehr großer Zahlenwerte gekennzeichnet. Das wird in der Statistik als *Überdispersion* bezeichnet. Die Kenngrößen, die auf den kubischen und quartischen Momenten beruhen, *Schiefte* und *Exzess*, haben sich als instabil erwiesen, weil sie von Extremwerten besonders stark beeinflusst werden. Wir haben sie deshalb in den Auswertungen nicht mehr berücksichtigt. Aus dem Faktor Lenkbewegungen fällt nur die *doppelte Amplitude der Lenkausschläge (peak to peak)* heraus, die ihre größte Ladung auf dem Faktor 6 *Querbeschleunigung, Standardabweichung Spurhaltung* zeigt. Das globale Sicherheitsurteil der Fahrlehrerin konstituiert einen eigenen Faktor, zu dem auch die Zahl der Fahrfehler *zu geringer Seitenabstand* und *unsicheres Spurhalten* gehören. Der Fahrfehler *Geschwindigkeit zu niedrig für Verkehrssituation* im Urteil der Fahrlehrerin hat seine höchste Ladung auf dem Faktor 1, *Längsführung und Geschwindigkeit. Querbeschleunigung, Standardabweichung Spurhaltung* und *doppelte Amplitude der Lenkausschläge* bilden einen auch gegenüber *Spurhaltung links* und *Spurhaltung rechts* unabhängigen Faktor. Schließlich erscheinen die Blickbewegungen ebenfalls als eigener Faktor. Zwei weitere Variablen, *Situationsbewusstsein* und *Selbsteinschätzung der mentalen Beanspruchung (RSME)*, von denen die letztere ein subjektives Datum der Vp darstellt, wurden nicht in die Faktorenanalyse einbezogen. Bei allen tentativen Lösungen mit 6 bis 9 Faktoren erzielten diese Variablen nur niedrige Kommunalitäten und maximale Faktorenladungen um 0,300. Obwohl sie auf die unabhängige Variable im Versuch sehr gut ansprechen, haben sie nur geringe Teile der Varianz zwischen den Personen mit den objektiven Variablen gemeinsam. Sie wurden deshalb in die hier wiedergegebene Faktorenanalyse nicht einbezogen.

Beim Straßenversuch wurde in gleicher Weise verfahren. Den Faktorenanalysen wurde hier nur der Teil der Daten zugrundegelegt, der bei 59 Vpn auf den Fahrten *ohne ACC* gewonnen wurde. Da für die Fahrt *mit ACC* nur von 15 Vpn auswertbare Daten vorliegen, verbieten sich diese Faktorenanalysen. Rechnet man sie trotzdem, zeigen sich die gleichen Resultate noch prägnanter mit einem beträchtlichen Anteil von Faktorenladungen über 0,900. Dies ist jedoch als Artefakt aufgrund der zu geringen Personenzahl zu bewerten und wird hier nicht weiter verfolgt. Am besten interpretierbar waren die Resultate einer Fünf-Faktorenlösung ohne die nur im Straßenversuch ausgewerteten Variablen für *Bremsverzögerung, Beschleunigung* und *Gaspedalbewegungen* sowie wiederum ohne *RSME*. Das Scree-Plot dieser Analyse zeigt Abbildung 132. Die rotierte Faktorenmatrix ist in Tabelle 29 und die Interpretation der Faktoren in Tabelle 30 dargestellt.

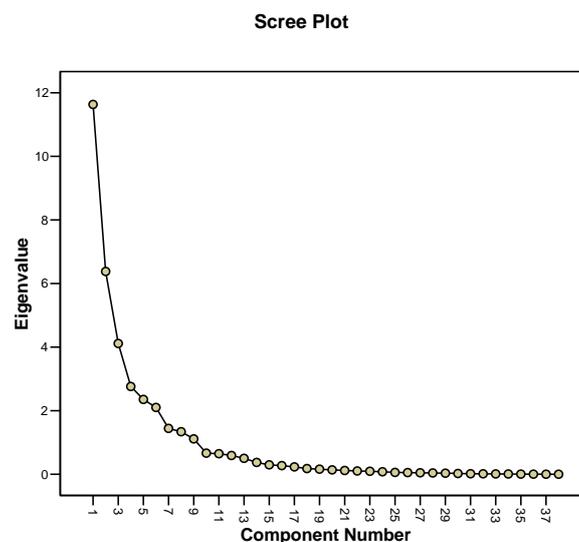


Abbildung 132. Scree-Plot der Faktorenanalyse der abhängigen Variablen im Straßenversuch

Tabelle 29. Rotierte Faktorenmatrix für die abhängigen Variablen im Straßenversuch, nur Fahrten ohne ACC. Anmerkung: *abschmo* = 1 entspricht mit Bedienung, *abschmo* = 2 entspricht ohne Bedienung

Abhängige Variable	Com- po- nent					h_i^2
	1	2	3	4	5	
v_t1 Geschwindigkeit v Fehlerdauer Promille der Zeit abschmo = 1		,747			-,191	,598
v_t2 Geschwindigkeit v Fehlerdauer Promille der Zeit abschmo = 2		,788			-,140	,656
v_w1 Geschwindigkeit v Fehlerzahl pro 1000 s abschmo = 1		,855				-,181
v_w2 Geschwindigkeit v Fehlerzahl pro 1000 s abschmo = 2	,157	,862	,218			,824
th_t1 Längsabstand th Fehlerdauer Promille der Zeit abschmo = 1		,433	-,124			,301
th_t2 Längsabstand th Fehlerdauer Promille der Zeit abschmo = 2		,592			,101	,371
th_w1 Längsabstand th Fehlerzahl pro 1000 s abschmo = 1	-,137	,496	-,156			,119
th_w2 Längsabstand th Fehlerzahl pro 1000 s abschmo = 2		,566			,266	-,363
ttc_t1 Zeit bis Kollision ttc Fehlerdauer Promille der Zeit abschmo = 1		,552	-,279			,396
ttc_t2 Zeit bis Kollision ttc Fehlerdauer Promille der Zeit abschmo = 2		,594				-,579
ttc_w1 Zeit bis Kollision ttc Fehlerzahl pro 1000 s abschmo = 1		,602	-,244			,236
ttc_w2 Zeit bis Kollision ttc Fehlerzahl pro 1000 s abschmo = 2		,532			,113	-,567
eor_r1 Zeitanteil EOR Promille abschmo = 1			,900	,174	,157	,873
eor_r2 Zeitanteil EOR Promille abschmo = 2	,104		,944	,140		,928
eor_f1 Fixationsdauer OR zu lang Fehlerzahl pro 1000 s abschmo = 1	-,122		,939			,905
eor_f2 Fixationsdauer OR zu lang Fehlerzahl pro 1000 s abschmo = 2			,927			,866
q_t1 Querschleunigung Fehlerdauer Promille der Zeit abschmo = 1	,421	,816		,102	,105	,868
q_t2 Querschleunigung Fehlerdauer Promille der Zeit abschmo = 2	,466	,790				,846
q_w1 Querschleunigung Fehlerzahl pro 1000 s Fahrt abschmo = 1	,457	,810		,120		,884
q_w2 Querschleunigung Fehler pro 1000 s Fahrt abschmo = 2	,419	,825				,861
vw_n1 Zahl der Ausschläge pro Sekunde abschmo = 1	,747		-,121		-,417	,753
vw_n2 Zahl der Ausschläge pro Sekunde abschmo = 2	,748		-,159		-,443	,791
vw_d1 Doppelte Amplitude der Ausschläge abschmo = 1		,123	,109		,803	,678
vw_d2 Doppelte Amplitude der Ausschläge abschmo = 2			,133	,165	,743	,604
id_1 Interdezilabstand Nakayma Verteilung abschmo = 1	,963	,135		,118		,960
id_2 Interdezilabstand Nakayma Verteilung abschmo = 2	,977	,139				,978
ls_1 Nakayama-Standardabweichung abschmo = 1	,932	,155		,143	,136	,932
ls_2 Nakayama-Standardabweichung abschmo = 2	,950	,115		,119	,103	,943
lv_1 Nakayama-Standardabweichung abschmo = 1	,957	,146				,956
lv_2 Nakayama-Standardabweichung abschmo = 2	,954	,103				,935

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung

frlu_1 Sicherheitsurteil Fahrlehrer abschmo = 1	,237			,783	,217	,729
frlu_2 Sicherheitsurteil Fahrlehrer abschmo = 2	,436			,767	,101	,802
frl5_1 Fahrlehrer Zahl Fahrfehler f5 pro 1000 s Fahrt abschmo = 1		-,534	-,114	,497		,550
frl5_2 Fahrlehrer Zahl Fahrfehler f5 pro 1000 s Fahrt abschmo = 2		-,451		,317		,319
frl9_1 Fahrlehrer Zahl Fahrfehler f9 pro 1000 s Fahrt abschmo = 1	,122		,158	,844		,753
frl9_2 Fahrlehrer Zahl Fahrfehler f9 pro 1000 s Fahrt abschmo = 2	,194		,131	,705	-,116	,566
frl10_1 Fahrlehrer Zahl Fahrfehler f10 pro 1000 s Fahrt abschmo = 1	,719			,377		,662
frl10_2 Fahrlehrer Zahl Fahrfehler f10 pro 1000 s Fahrt abschmo = 2	,690			,345		,599

Tabelle 30. Die fünf Faktoren für die abhängigen Variablen im Straßenversuch ohne ACC und ihre Bedeutung

Faktor Nummer	Varianzanteil nach der Rotation %	Bedeutung
1	23,1	Lenkbewegungen
2	21,9	Längsführung, Geschwindigkeit, Längsabstand, Querschleunigung
3	10,1	Blickbewegungen
4	8,9	Sicherheitsurteil Fahrlehrer
5	7,6	Doppelte Amplitude Lenkausschläge
	Summe 71,6	

Bei dieser Faktorenanalyse übernehmen die Maße für die Lenkbewegungen die Rolle des ersten Faktors. Alle Maße mit Ausnahme der *doppelten Amplitude der Lenkausschläge* laden hoch auf diesem Faktor, korrelieren also eng miteinander. Die Längsführungsvariablen und die Geschwindigkeit bilden jetzt den zweiten Faktor, zu dem auch, wie im Simulatorversuch, das Fahrlehrerurteil *Fahrt zu langsam für Verkehrssituation* mit Vorzeichenumkehr gehört. Diesem Faktor fügt sich jetzt auch die *Querschleunigung* an. Das hat sich schon in der Simulatorfahrt angedeutet, wo die *Querschleunigung* zwar zusammen mit der hier nicht berechneten *Standardabweichung der Spur* und der *doppelten Amplitude der Lenkausschläge* einen eigenen Faktor bildete, aber auch schon im Faktor *Längsführung, Geschwindigkeit* auffallende Ladungen mittlerer Höhe zeigte. Den vierten Faktor bildet jetzt das Sicherheitsurteil der Fahrlehrerin zusammen mit ihrem Fahrfehlerurteil *zu geringer Seitenabstand*. Das Fahrfehlerurteil *unsicheres Spurhalten* ist jetzt auf den Faktor *Lenkbewegungen* übergegangen, hat aber im Faktor *Sicherheitsurteil Fahrlehrer* Ladungen zwischen 0,300 und 0,400 behalten. Die *doppelte Amplitude der Lenkausschläge* bildet jetzt einen eigenen Faktor, der ansonsten keine interpretierbaren Ladungen mehr aufweist. Das liegt daran, dass die anderen damit korrelierenden Variablen *Standardabweichung der Spur* und *Ampelfehler* im Straßenversuch nicht gemessen wurden und die *Querschleunigung* ihre höchsten Ladungen jetzt auf den Längsführungsvariablen zeigt.

Bezieht man in die Faktorenanalyse die zunächst nur im Straßenversuch ausgewerteten Variablen *Fahrbeschleunigung*, *Bremsverzögerung*, und *unruhige Bedienung des Gaspedals* ein, so ist die Sechsfaktorenlösung am besten interpretierbar. Die *unruhige Bedienung des Gaspedals* etabliert einen neuen Faktor, der auch die *Fahrbeschleunigung* umfasst. Angesichts des naturgesetzlichen Zusammenhangs zwischen der Stellung des Gaspedals und der Beschleunigung ist das nicht verwunderlich. Die *Bremsverzögerung* andererseits bildet jetzt mit *Längsabstand zu niedrig für die eigene Geschwindigkeit (th)* einen eigenen Faktor, führt also zur Aufspaltung des früher umfassen-

den Faktors *Längsführung, Geschwindigkeit*. Auch das ist nicht unplausibel, denn ein zu geringer Abstand zum Vorausfahrzeug bei der Folgefahrt erzwingt auch höhere Bremsverzögerungen. Der Faktor Längsführung wird dafür mehr zum reinen Geschwindigkeitsfaktor, der aber nach wie vor stark auf der *Querb beschleunigung* lädt.

Nachdem die Faktorenanalysen ein allgemeines Bild über die korrelativen Zusammenhänge zwischen allen abhängigen Variablen geliefert hatten, wurden diese zu Skalen zusammengefasst, die als die eigentlichen Ergebnisse des Verfahrens dienen. Wir nennen sie die I-TSA-Skalen. Dabei war die Leitidee, Variablen mit hohen Interkorrelationen, die an einem gemeinsamen Faktor ablesbar waren, auch zu Einzelskalen zusammenzufassen. Da aber die Faktorenanalyse nur eine exploratorische Methode darstellt, deren Ergebnisse auch von Annahmen abhängen, die mit einem gewissen Spielraum für Willkürentscheidungen getroffen werden, ist es nicht angezeigt, sich sklavisch an die erhaltenen Faktoren zu halten. Außer den gefundenen Faktoren, die ja auch zwischen Simulator- und Straßenversuch nicht vollkommen gleich waren, wurden auch inhaltliche und sachliche Gesichtspunkte bei der Wahl der Variablen für die einzelnen Skalen berücksichtigt.

Da die einzelnen abhängigen Variablen bis jetzt, abhängig von ihrer physikalischen Maßeinheit und deren Skalierung, ganz unterschiedliche Mittelwerte und Standardabweichungen haben, müssen ihre Verteilungen standardisiert werden, bevor sie durch Summieren zu einem Summenscore und durch dessen Division durch die Zahl der Variablen zu einem arithmetischen Mittelwert zusammengefasst werden können. Die einzelnen Variablen wurden nach der Gleichung

$$z = (x - M)/s$$

standardisiert. x ist dabei jeder Wert einer Person in einer Variablen, die in die Faktorenanalyse eingesetzt war. M ist deren arithmetischer Mittelwert über alle Personen und beide Versuchsbedingungen hinweg. s schließlich ist die Standardabweichung innerhalb der Gruppen, die Quadratwurzel aus der Varianzschätzung innerhalb der beiden Versuchsbedingungen. Mit dieser linearen Transformation bleibt der Informationsgehalt des Mittelwertsunterschieds zwischen den Mittelwerten für beide Versuchsgruppen *ohne* und *mit Bedienung* voll erhalten, die Standardabweichung innerhalb der Bedingungen wird aber für alle Variablen auf den Wert 1 gesetzt, so dass alle zu einer Skala zusammengefügt Variablen in die resultierende Maßzahl mit dem gleichen Gewicht eingehen. Die schließlich gebildeten Skalen und ihre Variablen zeigt *Tabelle 31*. In die Tabelle wurden auch die Reliabilitäten (Cronbachs α) für die einzelnen Skalen aufgenommen. Die Zahlenwerte sind zum Teil so hoch, wie sie in psychologischen Tests praktisch nicht vorkommen. Das liegt daran, dass zwischen den Variablen, die eine Skala bilden, zum Teil naturgesetzliche oder mathematische Beziehungen bestehen. Beim Sicherheitsurteil der Fahrlehrerin zeigen sich Werte, die denen guter psychologischer Testverfahren entsprechen.

Tabelle 31. Die I-TSA-Skalen und die in ihnen zusammengefassten Variablen

Name	Bezeichnung	Reliabilität α Simulator**	Reliabilität α Straße**	Variablen
I-TSA 1	Längsführung	0,917 0,911	0,840 0,768	Überschreiten Höchstgeschwindigkeit, Längsabstand zu gering (<i>th</i> und <i>ttc</i>), Fahrlehrerurteil <i>Geschwindigkeit zu niedrig für Verkehrssituation</i> (mit Vorzeichenumkehr)
I-TSA 2	Gas und Längsbeschleunigung		0,880 0,921	Bremsverzögerung zu hoch, Fahrbeschleunigung zu hoch, Bedienung Gaspedal unruhig
I-TSA 3	Querführung links	0,911 0,956		Zeit bis Rand (<i>tlc</i>) links, Spurverlassen links, zu geringer Seitenabstand zu anderen Fahrzeugen
I-TSA 4	Querführung rechts	0,960 0,935		Zeit bis Rand (<i>tlc</i>) rechts, Spurverlassen rechts,
I-TSA 5a	Querbeschleunigung	0,927 0,912	0,989 0,988	Querbeschleunigung (Fehlerdauer und –häufigkeit)
I-TSA 5b	Querführung Indikatoren	0,049 0,469		Standardabweichung Spur gegen Spur tiefpassgefiltert, doppelte Amplitude Lenkbewegungen, Fehlerstufen Reaktion auf Ampelsignal
I-TSA 6	Blickbewegungen	0,954 0,939	0,957 0,915	Durchschnittliche Blickabwendungsdauer von der Straße, Fehlerstufen Fixationsdauer bei Blickabwendung von der Straße
I-TSA 7	Lenkbewegungen, mentale Beanspruchung	0,919 0,946	0,909 0,917	Zahl der Lenkausschläge pro Sekunde, Interdezilabstand, Standardabweichung und Varianz der Nakayama-Verteilungen*
I-TSA 8	Sicherheitsurteil Fahrlehrer	0,773 0,828	0,709 0,776	Globales Sicherheitsurteil über Abschnitte, Zahl der Fahrfehler zu <i>geringer Seitenabstand</i> und <i>unsicheres Spurhalten</i>
I-TSA 9	Subjektive Einschätzung der mentalen Beanspruchung (RSME)	***	***	Durchschnittliche RSME-Maßzahl, standardisiert
I-TSA 10	Situationsbewusstsein	***		Wiedererkennungslleistung im Test, standardisiert

* Der Begriff der Nakayama-Verteilung wird in Abschnitt 4.3.3 definiert

** Obere Zahl: *ohne Bedienung*, untere Zahl: *mit Bedienung*

*** Nur eine Variable, daher α nicht zu berechnen. Leere Zelle: keine Messung

In der Skala I-TSA 1 werden die Geschwindigkeits- und Längsführungsvariablen zusammengefasst. Das Fahrlehrerurteil *Geschwindigkeit zu niedrig für Verkehrssituation* wird hier mit Vorzeichenumkehr einbezogen. Die Skala I-TSA 2 enthält die nur im Straßenversuch ausgewerteten Variablen *Fahrbeschleunigung zu hoch* und *Bedienung Gaspedal unruhig*, die in der Sechsfaktorenlösung der Faktorenanalyse für den Straßenversuch als eigener Faktor erschienen. Die Variable *Bremsverzögerung zu hoch* wird hier ebenfalls aufgenommen, obwohl sie in der Sechsfaktorenlösung zusammen mit *Längsabstand zu gering für eigene Geschwindigkeit* einen eigenen Faktor erzeugt hat. Die Skalen I-TSA 3 und I-TSA 4 enthalten alle Querführungsvariablen, die spezifisch mit der linken bzw. der rechten Spurbegrenzung zu tun haben. In der Faktorenanalyse für den Simulatorversuch bildet der Fehler *Querbeschleunigung zu hoch* zusammen mit der *Standardabweichung der Spur* und der *doppelten Amplitude der Lenkausschläge* einen Faktor, wobei nur die Querbeschleunigung *mit Bedienung* geringere Fehlerwerte, die anderen beiden Variablen aber höhere Werte zeigen. Um diese gegenläufigen Effekte nicht durch Mittelwertbildung zu verdecken, wurde der Faktor in zwei Skalen, I-TSA 5a, nur *Querbeschleunigung*, und I-TSA 5b, nur *Indikatoren*, aufgeteilt. Ob diese Aufteilung auf Dauer aufrechterhalten wird, sollte aufgrund weiterer Erfahrungen mit dem Bewertungsverfahren entschieden werden.

I-TSA 6 enthält die Variablen und Fehlerstufen der Blickbewegung. Diese Variablen dürften auch als visuelle Beanspruchung zu interpretieren sein und als solche mit spezifischen Nebenaufgaben wie PDT (engl. *peripheral detection task*), die in unseren Versuchen nicht enthalten waren, ergänzbar sein. In der Reihe der I-TSA-Skalennummern beginnen somit bei I-TSA 6 die Indikatoren für die transienten Verhaltenshintergründe. Die Lenkbewegungen im Sinne von I-TSA 7 haben, wie nicht zuletzt die Tatsache zeigt, dass sie einen eigenen Faktor bilden, mit den Variablen der Querbeschleunigung und der Querführung wenig zu tun, obwohl rein physikalisch das Gegenteil nahe liegt. Die hier gemessenen Größen sind mit Ausnahme der Zahl der Ausschläge pro Sekunde dem Nakayama-Verfahren entnommen. Sie messen etwas wie die Unvoraussagbarkeit der Lenkbewegungen über ein Intervall von etwa einer fünftel Sekunde hinweg, sind also Parameter der menschlichen Auge-Hand-Koordination bei der ständigen Feinkorrektur der Spurrhaltung. Vor allem die Arbeiten von Verwey (2001; Verwey & Veltman, 1996) legen nahe, dass es sich dabei um Indikatoren für die mentale Beanspruchung handelt. Deshalb haben wir diesen Faktor nicht unmittelbar an die die Reihe der Querführungsfaktoren I-TSA 3 bis I-TSA 5 angehängt. Die nächste I-TSA-Nummer, I-TSA 8 haben wir für das Sicherheitsurteil der Fahrlehrerin vergeben. Es basiert nicht mehr, wie die I-TSA-Skalen mit niedrigerer Ordnungsnummer, auf objektiven Daten.

Die noch folgenden Nummern I-TSA 9 und I-TSA 10 haben wir der *subjektiven Einschätzung der mentalen Beanspruchung (RSME)* und dem *Situationsbewusstsein* zugeordnet. Beide Variablen waren mit den Faktorenanalysen schlecht zu fassen, weil sie nie ausreichend hohe Kommunalitäten zeigten. Sie werden hier zunächst einmal als eigene I-TSA-Skalen geführt. Beim Situationsbewusstsein fehlt es noch an einer bewährten, in Versuchen dieser Art praktikablen, reliablen und validen Messtechnik.

Die bis hierher getrennt nach dem Versuchsbedingungen *ohne* und *mit Bedienung* vorliegenden durchschnittlichen Maßzahlen für jede I-TSA-Skala wurden nun erneut auf die Standardabweichung 1 innerhalb der Versuchsbedingungen nach der Gleichung

$$z = (x - M)/s$$

standardisiert. Für M wurde jetzt jeweils der Mittelwert in der Kontrollbedingung *ohne Bedienung* eingesetzt. Damit entstanden z -Werte, bei denen der Wert $z = 0$ dem Mittelwert in der Kontrollbedingung entsprach. Bis dahin waren alle Zahlenwerte Fehlerstufen bzw. deren Dauer und Häufigkeit. Hohe Zahlenwerte entsprachen daher niedriger Sicherheit. Die endgültigen I-TSA-Maßzahlen sollten aber umgekehrt gepolt sein: einer hohen Maßzahl sollte eine gegenüber der Kontrollbedingung erhöhte Sicherheit entsprechen. Das wurde durch die Multiplikation der z -Werte mit -1 erreicht. Schließlich sollte die Verteilung der I-TSA-Maßzahlen für jede Skala auf den Mittelwert 100 und die Standardabweichung 10 gesetzt werden, wie es bei psychologischen Tests sehr verbreitet und vor allem vom Intelligenztest her bekannt ist. Dazu wurde die weitere Transformation

$$Z = 10 * z + 100$$

verwendet. Alle im Folgenden dargestellten Endergebnisse beider Experimente sind also das Resultat dieser letzten Stufe der Standardisierung. Der Zahlenwert 100 entspricht stets dem Durchschnitt in der Kontrollbedingung. Ein Wert von 110 entspricht einer Maßzahl eine Standardabweichung oberhalb, also in Richtung erhöhter Sicherheit, des Mittelwertes in der Kontrollbedingung. Entsprechend bedeutet ein Zahlenwert von 90 eine Maßzahl, die eine Standardabweichung unterhalb des Mittelwertes der Kontrollbedingung in Richtung verminderter Sicherheit liegt.

11 Die Ergebnisse als I-TSA-Skalenwerte

11.1 Die Fahrten ohne ACC im Simulator- und im Straßenversuch

Die Auswirkungen der Bedienung des Navigationssystems auf die Verkehrssicherheit sind für alle I-TSA-Skalen in Abbildung 133 in der Form je eines Profils für den Simulator- und den Straßenversuch dargestellt. Wie oben ausgeführt, bedeutet der Zahlenwert 100 die Kontrollbedingung. Werte größer 100 sind Verbesserungen, Werte unter 100 Verschlechterungen in der Versuchsbedingung. Bei I-TSA-Skalen, bei denen in einem der beiden Experimente keine Maßzahl vorliegt, erscheint das Profil unterbrochen.

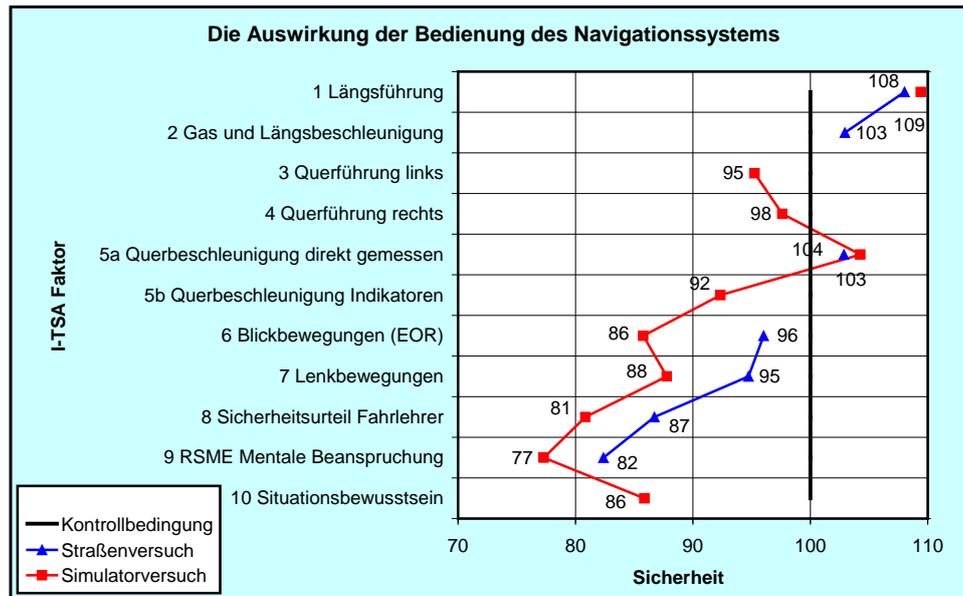


Abbildung 133. Die Auswirkung der Bedienung des Navigationssystems in Simulator- und Straßenfahrt auf die I-TSA-Faktoren

I-TSA 1, Längsführung, lässt eine klare Verbesserung der Sicherheit in den Abschnitten *mit Bedienung* um fast eine Standardabweichung, und zwar im Simulator- wie im Straßenversuch, erkennen, was als hoher Effekt zu bezeichnen ist. Er beruht darauf, dass die Vpn bei der Bedienung so viel langsamer fuhren, dass die Fahrfehler in der Längsführung massiv zurückgingen. Ein ähnlicher, etwas schwächerer Effekt zeigt sich auch noch bei der Längs- (I-TSA 2) und Querbeschleunigung (I-TSA 5a). Weil langsamer gefahren wurde, verminderten sich auch Dauer und Zahl kritischer Werte der Querbeschleunigung. Querführung links (I-TSA 3) und rechts (I-TSA 4) sprachen unterschiedlich stark auf die Bedienung an. Hier zeigt sich eine deutliche Verschlechterung bei der Bedienung, vor allem auf der linken Seite. Bei Blickbewegungen (I-TSA 6), Lenkbewegungen (mentale Beanspruchung, I-TSA 7) und Sicherheitsurteil Fahrlehrer (I-TSA 8) ergaben sich ebenfalls deutliche Verschlechterungen infolge der Eingabe. Die Profile laufen hier für die Simulator- und die Straßenfahrt parallel. Die Simulatorfahrt zeigt durchgängig stärkere Effekte. Dies ist vor allem bei den Blickbewegungen (I-TSA 6) sehr ausgeprägt und dürfte daher rühren, dass die Vpn im Simulator unvorsichtiger fahren. Generell dürfte die höhere Ausprägung dieser Effekte im Simulator daher kommen, dass die Situationen dort eindeutiger sind und insgesamt weniger Fehlervarianz aus den verschiedensten Quellen auftritt. Die in Abbildung 133 dargestellten Effekte sind mit Ausnahme der Querführung rechts (I-TSA 4) auf einem Niveau von mindestens 1 % statistisch signifikant. I-TSA 4 erreichte nur die 5 %-Signifikanzgrenze. Bei der Interpretation dieser Profile ist zu beachten, dass die I-TSA-Skalen für die jeweiligen Kontrollbedingungen getrennt nach Simulator- und Straßenfahrt auf den Wert 100 geeicht sind. Die Ergebnisse der zeilenweisen t-Tests zum Vergleich abhängiger Mittelwerte zeigt die folgende Tabelle.

I-TSA Skala	Simulatorversuch			Straßenversuch		
	t	df	Sig. (2-tailed)	t	df	Sig. (2-tailed)
1 Längsführung	-11,613	54	,000	-8,106	58	,000
2 Gas und Längsbeschleunigung				-4,583	58	,000
3 Querführung links	4,372	54	,000			
4 Querführung rechts	2,502	54	,015			
5a Querbeschleunigung	-4,172	54	,000	-5,021	58	,000
5b Querführung Indikatoren	7,165	54	,000			
6 Blickbewegungen	9,770	54	,000	7,250	58	,000
7 Lenkbewegungen	12,250	54	,000	14,143	58	,000
8 Sicherheitsurteil Fahrlehrer	17,761	54	,000	16,331	58	,000
9 RSME Mentale Beanspruchung	12,634	54	,000	11,750	58	,000
10 Situationsbewusstsein	6,279	54	,000			

Anmerkung: Einer Sicherheitsverbesserung in der Versuchsbedingung mit Bedienung entspricht das Minuszeichen vor dem t-Wert.

11.2 Die Fahrten ohne und mit ACC im Straßenversuch

In Abbildung 134 sind die Profile für den Teil des gesamten Straßenversuches dargestellt, in dem von $n = 15$ Vpn auswertbare Daten für die Fahrten *ohne* und *mit* ACC vorliegen. Die Kontrollbedingung, für die der I-TSA-Wert auf 100 gesetzt wurde, ist jetzt die Fahrt *ohne Bedienung* und *ohne ACC*.

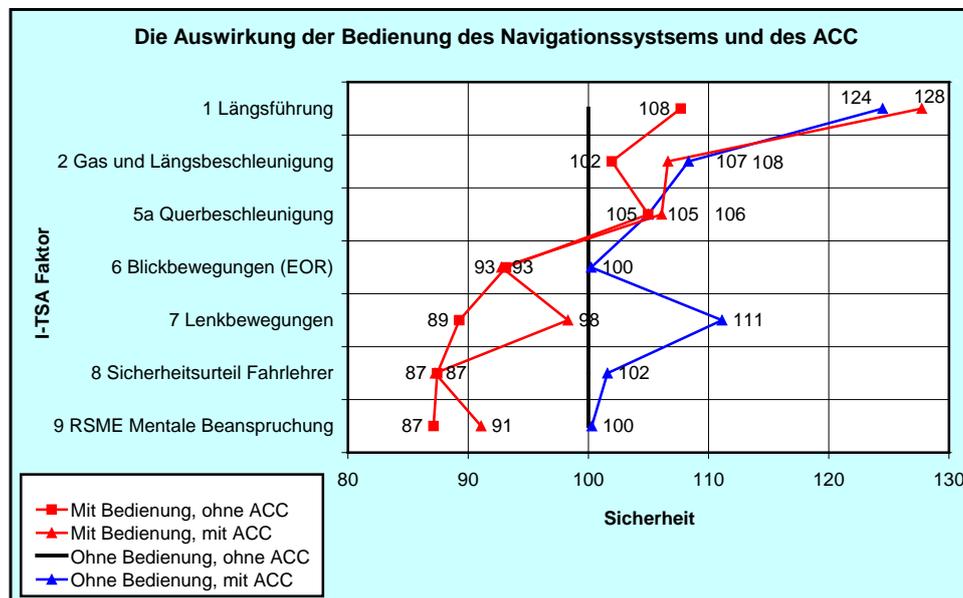


Abbildung 134. Die Auswirkung der Bedienung des Navigationssystems und der Nutzung des ACC bei der Straßenfahrt auf die I-TSA-Faktoren

Die gefundenen Profile bedeuten folgendes: Die Fahrt *mit* ACC bringt einen massiven Sicherheitsgewinn in der Längsführung (I-TSA 1) und in der mentalen Beanspruchung, gemessen mit dem spektralen Band der Lenkbewegungen, auf das das Nakayama-Verfahren anspricht (I-TSA 7). Auch bei Längs- und Querbeschleunigung (I-TSA 2 und I-TSA 5a) sind deutliche Verbesserungen erkennbar. Die Bedienhandlung führte hier wieder zu der schon bekannten Verbesserung bei der Längsführung und der Querbeschleunigung infolge langsameren Fahrens. Die übrigen Variablen

zeigen die erwartete Verschlechterung, die sich der Verbesserung durch die ACC-Fahrt nahezu additiv überlagert. Im Sicherheitsurteil der Fahrlehrerin drückt sich zwar eine massive Verschlechterung durch die Bedienhandlung, aber keine Verbesserung durch die ACC-Fahrt aus. Das dürfte hauptsächlich daher rühren, dass die Fahrlehrerin den Fahrfehler *Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit* bei ihren Urteilen weitgehend ausgeklammert hat, da dieser objektiv gemessen wurde.

Bei diesen Profilen lohnt es sich, die Unterschiede zwischen den vier Punkten für jede einzelne I-TSA-Skala mit einer zweifaktoriellen *Bedienung- x ACC*-Varianzanalyse auf Signifikanz zu prüfen. Das geschieht im folgenden Abschnitt.

11.2.1 Die Einzelskalen bei den Fahrten ohne und mit ACC im Straßenversuch

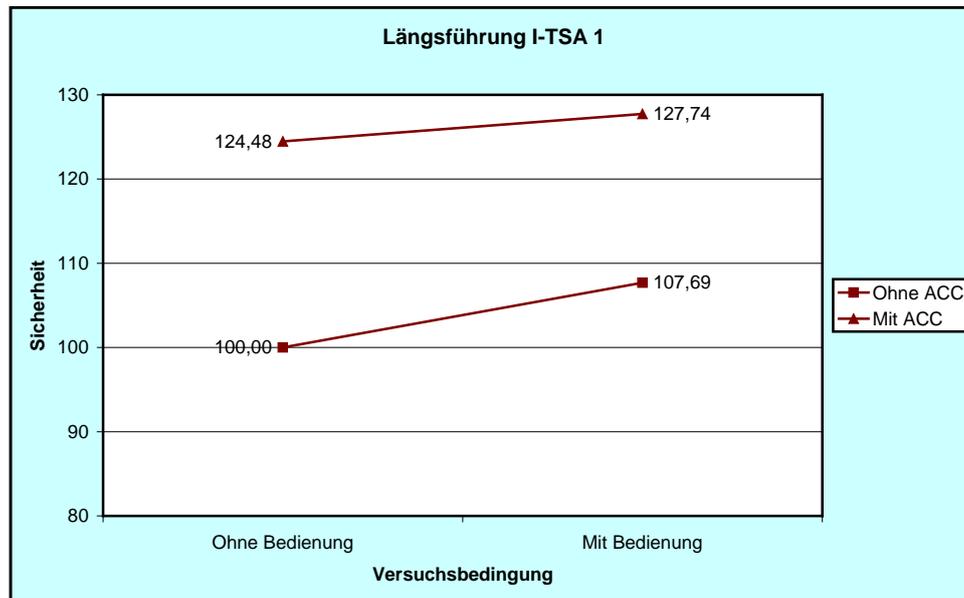


Abbildung 135. Längsführung I-TSA 1, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne und mit ACC

Die Abbildung zeigt eine massive Erhöhung der Sicherheit *mit ACC* und eine weniger ausgeprägte Erhöhung *mit Bedienung*. Beide sind statistisch hoch signifikant. Die im Bild schwach sichtbare Wechselwirkung verfehlt die Signifikanzschranke.

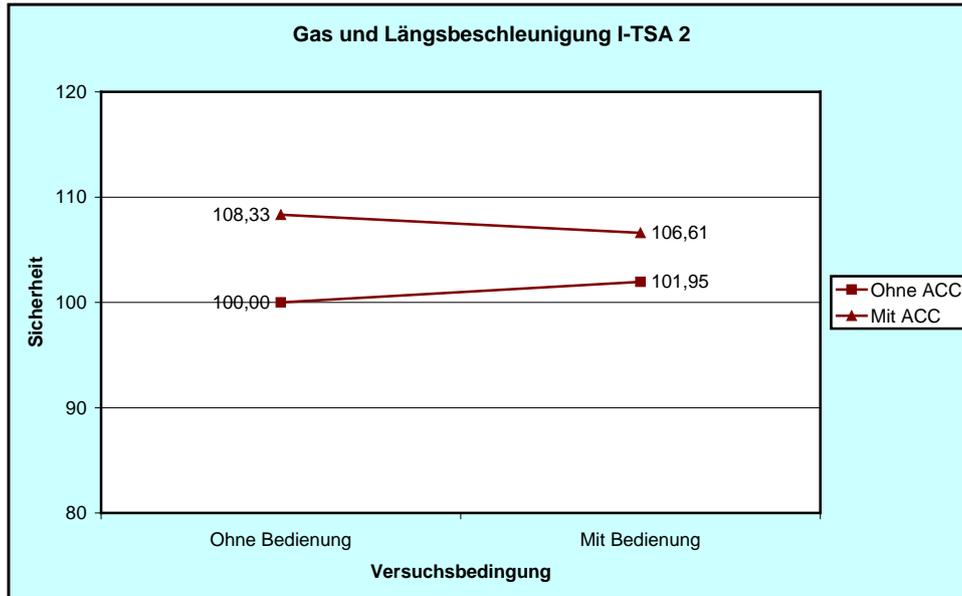


Abbildung 136. Gas und Längsbeschleunigung I-TSA 2, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne und mit ACC

Die Abbildung zeigt eine deutliche Verbesserung *mit ACC*, die auch signifikant ist, aber keinen Haupteffekt für *Bedienung* und nur eine schwach angedeutete Wechselwirkung.

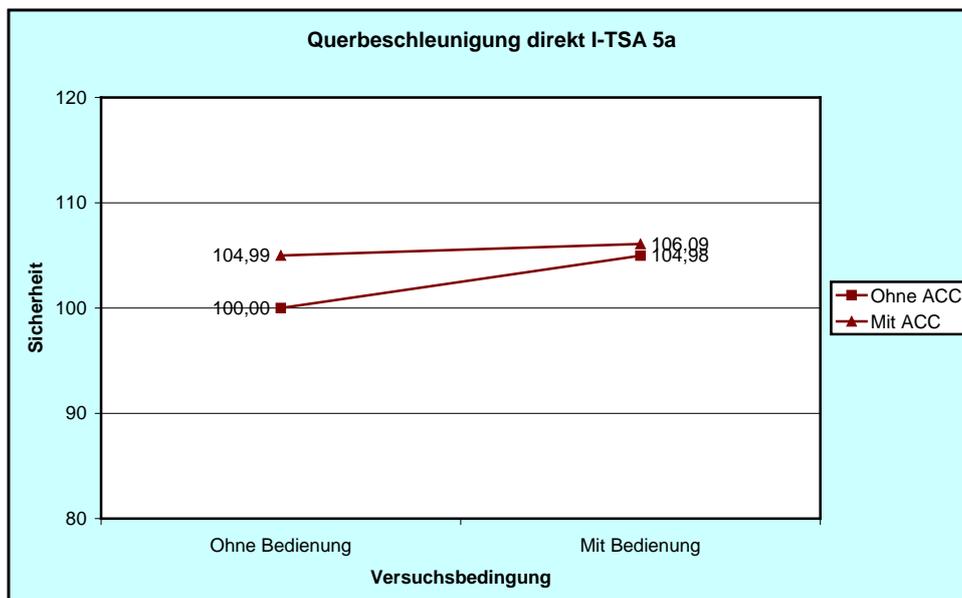


Abbildung 137. Querbeschleunigung direkt gemessen I-TSA 5a, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne und mit ACC

In dieser Abbildung zeigt sich die gleiche Verbesserung gegenüber der Kontrollbedingung für die drei Versuchsbedingungen *ohne Bedienung mit ACC* sowie *mit Bedienung ohne* und *mit ACC*. Haupteffekt *Bedienung* und Wechselwirkung erreichen die 5 %-Signifikanzschränke.

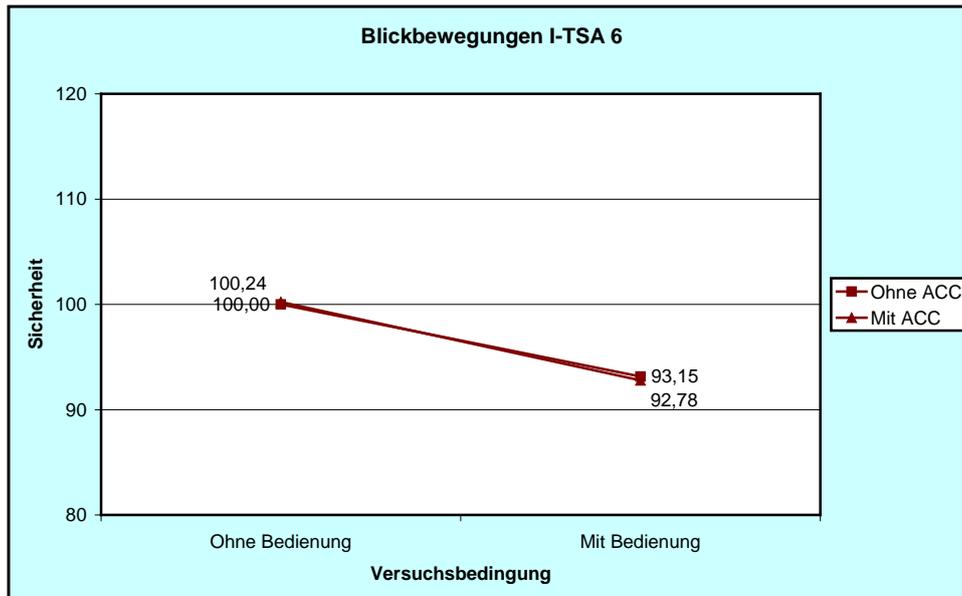


Abbildung 138. Blickbewegungen I-TSA 6, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne und mit ACC

Hier liegt nur eine Verschlechterung *mit Bedienung* vor. Der Haupteffekt ist signifikant. ACC führt weder zu einem Haupteffekt, noch zu einer Wechselwirkung, ist hier also ohne jeden Einfluss.

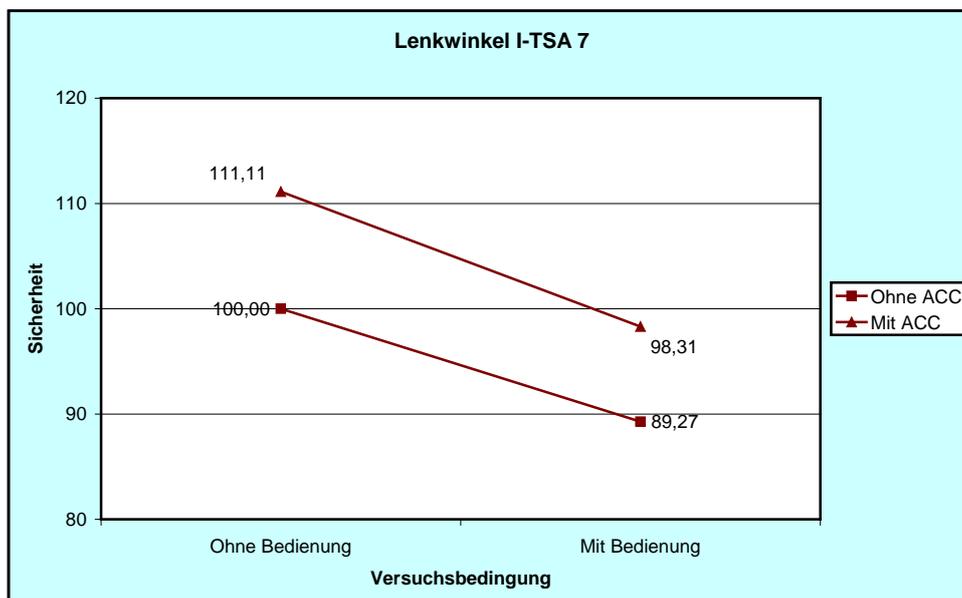


Abbildung 139. Lenkwinkel I-TSA 7, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne und mit ACC

Die Versuchsbedingung *mit Bedienung* zeigt eine deutliche Verschlechterung, die Versuchsbedingung *mit ACC* eine ebenso deutliche Verbesserung. Beide Haupteffekte sind signifikant. Eine Wechselwirkung deutet sich nicht einmal an, die Wirkungen beider unabhängiger Variablen überlagern sich also additiv.

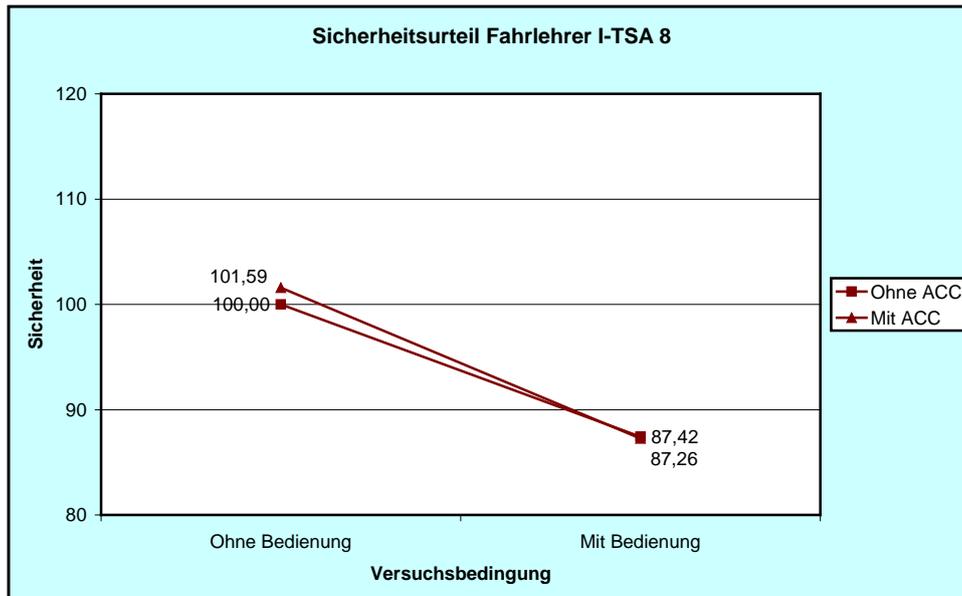


Abbildung 140. Sicherheitsurteil Fahrlehrer I-TSA 8, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne und mit ACC

Das Sicherheitsurteil der Fahrlehrerin spricht stark auf die Verschlechterung *mit Bedienung*, hingegen überhaupt nicht auf eine Wirkung des ACC an. Nur der Haupteffekt Bedienung ist signifikant.

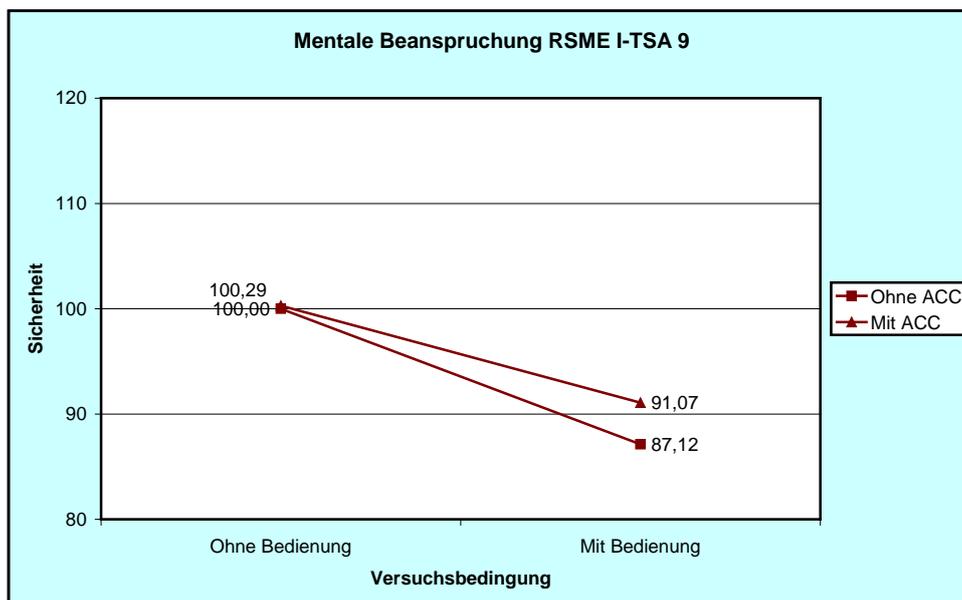


Abbildung 141. Mentale Beanspruchung RSME I-TSA 9, Abschnitte ohne und mit Bedienung, ohne und mit ACC

Ohne Bedienung bewirkt das ACC keine Verbesserung. *Mit Bedienung* zeigt sich eine deutliche Verschlechterung, der jedoch die Nutzung des ACC entgegenwirkt. Beide Haupteffekt und die Wechselwirkung sind signifikant, letztere nur auf 5 %-Niveau.

Wie diese Einzelanalysen zeigen, sind so gut wie alle in Abbildung 134 sichtbaren Unterschiede zwischen den einzelnen Messpunkten statistisch signifikant und inhaltlich gut interpretierbar. Die große Zahl von Signifikanzen bestätigt, dass das Verfahren in der hier vorgelegten Form

robust ist gegen Zufallsstreuungen und Fehlervarianzen, denn die Auswertungen dieses Teils des Straßenversuchs beruht nur auf $n = 15$ Vpn. - Die Signifikanztests sind in der folgenden Tabelle wiedergegeben.

Signifikanztests

Längsführung I-TSA 1						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	449.751	1	449.751	12.674	0.0031	0.4751
Error(Bedingung)	496.820	14	35.487			
ACC	7433.531	1	7433.531	100.957	0.0000	0.8782
Error(ACC)	1030.825	14	73.630			
Bedingung * ACC	73.565	1	73.565	2.690	0.1232	0.1612
Error(Bedingung * ACC)	382.804	14	27.343			
Gas und Längsbeschleunigung I-TSA 2						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	0.20	1	0.20	0.006	0.9377	0.0005
Error(Bedingung)	430.98	14	30.78			
ACC	633.04	1	633.04	9.255	0.0088	0.3980
Error(ACC)	957.61	14	68.40			
Bedingung * ACC	50.37	1	50.37	1.346	0.2653	0.0877
Error(Bedingung * ACC)	523.82	14	37.42			
Querbeschleunigung direkt I-TSA 5a						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	138.62	1	138.62	5.509	0.0341	0.2824
Error(Bedingung)	352.26	14	25.16			
ACC	139.26	1	139.26	1.152	0.3013	0.0760
Error(ACC)	1692.48	14	120.89			
Bedingung * ACC	56.43	1	56.43	6.356	0.0245	0.3122
Error(Bedingung * ACC)	124.30	14	8.88			
Blickbewegungen I-TSA 6						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	766.848	1	766.848	14.953	0.0017	0.5165
Error(Bedingung)	717.951	14	51.282			
ACC	0.064	1	0.064	0.018	0.8959	0.0013
Error(ACC)	50.643	14	3.617			
Bedingung * ACC	1.366	1	1.366	0.277	0.6070	0.0194
Error(Bedingung * ACC)	69.070	14	4.934			
Lenkwinkel I-TSA 7						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	2077.520	1	2077.520	70.621	0.0000	0.8346
Error(Bedingung)	411.852	14	29.418			
ACC	1522.934	1	1522.934	48.937	0.0000	0.7776
Error(ACC)	435.684	14	31.120			
Bedingung * ACC	16.177	1	16.177	0.661	0.4300	0.0451
Error(Bedingung * ACC)	342.853	14	24.489			

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung

Sicherheitsurteil Fahrlehrer I-TSA 8						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	2715.323	1	2715.323	42.335	0.0000	0.7515
Error(Bedingung)	897.938	14	64.138			
ACC	7.611	1	7.611	0.458	0.5096	0.0317
Error(ACC)	232.640	14	16.617			
Bedingung * ACC	11.536	1	11.536	0.315	0.5835	0.0220
Error(Bedingung * ACC)	512.767	14	36.626			
Mentale Beanspruchung RSME I-TSA 9						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Bedingung	1831.199	1	1831.199	12.846	0.0030	0.4785
Error(Bedingung)	1995.700	14	142.550			
ACC	67.315	1	67.315	5.541	0.0337	0.2836
Error(ACC)	170.081	14	12.149			
Bedingung * ACC	50.105	1	50.105	11.098	0.0049	0.4422
Error(Bedingung * ACC)	63.205	14	4.515			

12 Die I-TSA-Skalen und die Variablen zu Person, Persönlichkeit und Einstellungen

Die Experimente waren begleitet von Fragebögen, die die Vp auszufüllen hatte, mit denen Variablen zu Person, Persönlichkeit und Einstellungen erhoben wurden. Die hier erfassten Variablen wurden in Abschnitt 4.3.5 dargestellt und diskutiert. Die Ergebnisse für die allgemeinen Angaben zur Person sind in den Methodenteilen der beiden Experimente enthalten, für den Simulatorversuch in Abschnitt 5.1, für den Straßenversuch in Abschnitt 7.1. Die Begleitfragebögen zum Fahrerleben, DBQ (Driver Behaviour Questionnaire) und zur Selbstbeurteilung der Eingabehandlung wurden mit Faktorenanalysen aufbereitet. Die Ergebnisse wurden für beide Experimente zusammengefasst, um eine breitere Datenbasis bei den Vpn zu erhalten. Die Ergebnisse finden sich im Abschnitt 6.4. Die folgenden Erörterungen beruhen auf weiteren statistischen Auswertungen. Deren Darstellung ist streckenweise detailreich. Eine Zusammenfassung der beiden folgenden Abschnitte findet sich in Abschnitt 12.3.

12.1 Das Lebensalter der Vpn

Eine der wichtigsten Fragen an die Variablen zur Person gilt der Abhängigkeit der gefundenen Resultate vom Lebensalter der Vpn. Das Resultat für den Simulatorversuch zeigt Abbildung 142.

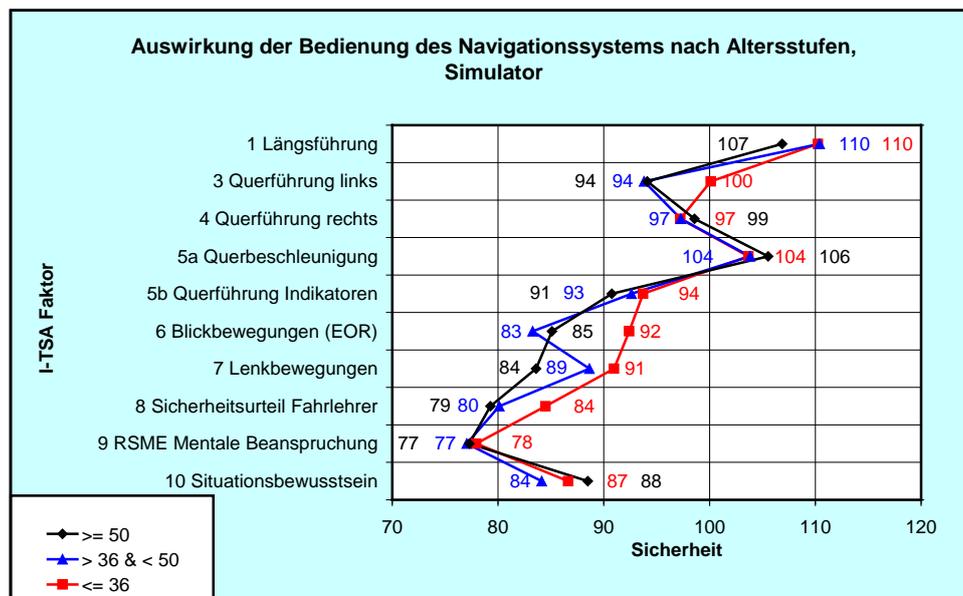


Abbildung 142. I-TSA-Skalenwerte für die Wirkung der Versuchsbedingung mit Bedienung in Abhängigkeit von den drei Altersstufen ≤ 36 , > 36 & < 50 und ≥ 50 Jahre im Simulatorversuch

Die Varianzanalyse ergab für den Faktor *I-TSA-Skalen* hoch signifikante Unterschiede mit $F(4,757; 247,347) = 52,968$, $MSe = 172,764$, $p < 0,001$ (Freiheitsgrade Greenhouse-Geisser-korrigiert für Nicht-Sphärizität der abhängigen Variablen). Dieser Haupteffekt ist für die jetzige Diskussion relativ unwichtig, weil sich die Auswirkungen der Versuchsbedingung bei allen einzelnen I-TSA-Skalen schon bei den Zahlenwerten in Abbildung 133 als signifikant erwiesen haben. Der jetzige Haupteffekt liefert die Information, dass sie auch untereinander signifikant verschieden sind. Die jüngste Altersgruppe zeigt bei den meisten I-TSA-Skalen etwas bessere Sicherheitswerte als die beiden anderen Gruppen. Mit $F(2; 52) = 2,482$, $MSe = 136,578$ und $p = 0,093$ verfehlt der zugehörige Haupteffekt aber die Signifikanzschränke. Die Wechselwirkung ist nicht signifikant. Die Varianzanalyse für den einfachen Haupteffekt von *Alter* liefert bei I-TSA 3 *Querführung links* $F(2; 52) = 3,013$, $MSe = 60,167$ und $p = 0,058$, verfehlt also die Signifikanzgrenze knapp. Unterwirft man hier den Unterschied zwischen der jüngsten und dem Mittelwert der beiden älteren Grup-

pen einem t-Test, so spricht dieser an: $t(54) = 2,475, p = 0,017$. Von den einfachen Haupteffekten der unabhängigen Variablen *Alter* werden I-TSA 6 *Blickbewegungen* ($F(2; 52) = 3,297, MSe = 107,540, p = 0,045$) und I-TSA 7 *Lenkbewegungen* ($F(2; 52) = 4,134, MSe = 49,108, p = 0,022$) signifikant. Alle anderen einfachen Haupteffekte für *Alter* bei den einzelnen I-TSA-Skalen sind nicht signifikant. Der im Bild noch sichtbare Sicherheitsvorsprung der jüngsten Altersklasse gegenüber den beiden anderen im *Fahrlehrerurteil* verfehlt ebenfalls die Signifikanzschranke.

Die Beeinträchtigung der Sicherheit durch die Versuchsbedingung *mit Bedienung* ist also bei der jüngsten Altersgruppe in den Variablen I-TSA 3 *Querführung links* und I-TSA 6 *Blickbewegungen* geringer als bei den beiden anderen Gruppen. Bei I-TSA 7 *Lenkbewegungen* ist sie geringer als bei der Gruppe der ältesten Fahrer. Bei der Gruppengröße von $n = 14$ Vpn in der jüngsten Altersstufe bewegen sich diese Effekte in der Nähe der Signifikanzgrenze, sind also nicht sehr hoch ausgeprägt.

Die I-TSA-Skalenwerte für den Straßenversuch zeigt Abbildung 143 getrennt für die drei Altersstufen.

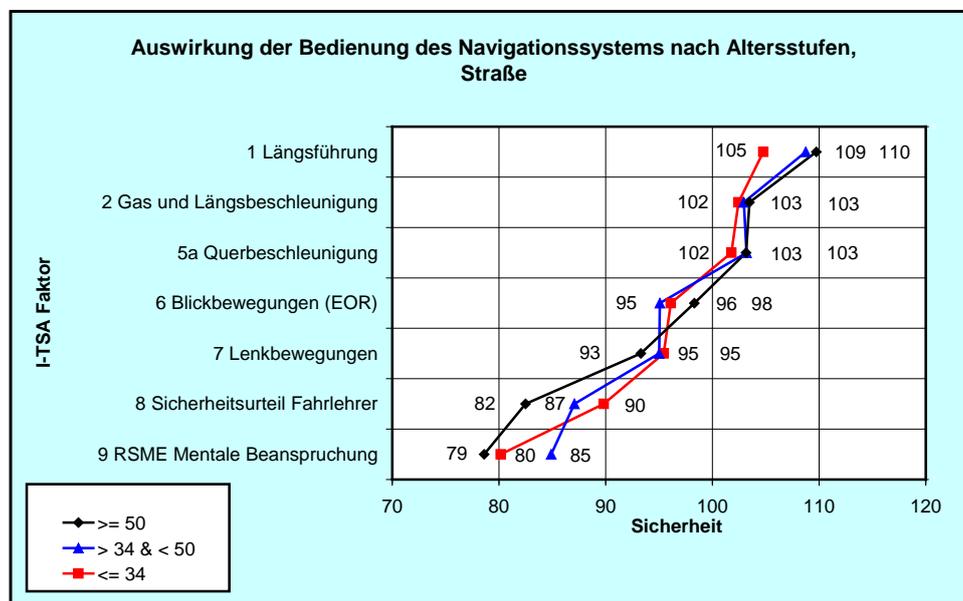


Abbildung 143. I-TSA-Skalenwerte für die Wirkung der Versuchsbedingung mit Bedienung in Abhängigkeit von den drei Altersstufen ≤ 34 , > 34 & < 50) und ≥ 50 Jahre im Straßenversuch, ohne ACC

Die zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholungen auf dem Faktor *I-TSA-Skalen* ergibt für die *Skalen* $F(2,955; 165,633) = 116,666, MSe = 78,696, p < 0,001$ und für die Wechselwirkung *Skalen x Alter* $F(5,910; 165,633) = 2,320, MSe = 78,696, p = 0,036$. Der Haupteffekt für *Alter* ist nicht signifikant. Die Wechselwirkung bedeutet, dass die einzelnen Altersstufen mit unterschiedlichen Auswirkungen auf den einzelnen Skalen verbunden sind. Die bei der Simulatorfahrt erkennbare Sicherheitsüberlegenheit der jüngsten Altersgruppe zeigt sich in der Straßenfahrt mit der Ausnahme von I-TSA 8 *Sicherheitsurteil Fahrerlehrer* ($F(2,56) = 5,463, MSe = 33,844, p = 0,007$) nicht. Dabei schneiden die ältesten Teilnehmer signifikant schlechter ab als die im Newman-Keuls-Test ununterscheidbaren beiden anderen Altersgruppen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass das Lebensalter in den hier gewählten Grenzen, die jüngsten Fahrer mit mindestens fünf Jahren Führerscheinbesitz, also einem Lebensalter von 23 Jahren, und am anderen Ende der Altersskala nur „junge Alte“ von höchstens 66 Jahren (Simulatorver-

such) oder 64 Jahren (Straßenversuch), keinen großen Einfluss auf die abhängige Variable, die Beinträchtigung der Sicherheit durch die Bedienungsaufgabe hat.

Die $n = 15$ Vpn, von denen die Fahrt mit ACC auswertbare Daten geliefert hat, lagen in einem Altersbereich zwischen 33 und 54 Jahren. Elf von ihnen gehörten zur mittleren Altersgruppe. Die Personenzahlen in der jüngeren und der älteren Altersgruppe sind hier für einen erfolgversprechenden Signifikanztest zu klein.

12.2 Die Skalen zu Persönlichkeit und Einstellung

Über alle Personen beider Experimente hinweg hatten die Begleitfragebögen fünf Skalen für das Fahrerleben, (1) *Ängstlichkeit, Furcht vor Überlastung oder Überforderung*, (2) *Begeisterung für die Technik*, (3) *Selbstbewusstsein, Selbstsicherheit als Fahrer*, (4) *Freude am Fahren* und (5) *Norm- und Regelorientierung* ergeben (vgl. Abschnitt 6.4). Der DBQ hatte die drei Skalen (1) *Schnitzer*, (2) *Fehler* und (3) *Aggression* reproduziert. Um den Zusammenhang zwischen diesen Variablen und den I-TSA-Skalen möglichst übersichtlich darzustellen, wurden diese insgesamt 8 Skalen nochmals einer Faktorenanalyse unterzogen, und zwar jetzt getrennt nach Simulator- und Straßenversuch. Dabei wurden aber keine erneut zusammenfassenden Skalen gebildet, sondern die Faktorenwerte für die weitere Auswertung verwendet. Von den Faktorenanalysen geben wir nur die rotierten Faktorenmatrizen wieder. Tabelle 32 zeigt sie für den Simulator-, Tabelle 33 für den Straßenversuch. Die drei Faktoren im Simulatorversuch erklären zusammen 63,7 %, im Straßenversuch 74,1 % der Gesamtvarianz.

Tabelle 32. Rotierte Faktorenmatrix Begleitfragebögen Simulatorversuch

	Compo-			h_i^2
	nent			
	1	2	3	
er1 Ängstlichkeit, Furcht vor Überlastung oder Überforderung	-,210	-,354	,639	,578
er2 Begeisterung für die Technik		,506		,259
er3 Selbstbewusstsein, Selbstsicherheit als Fahrer	,239	,760		,635
er4 Freude am Fahren	-,284	,727	-,244	,668
er5 Norm- und Regelorientierung			,861	,748
db1 Schnitzer (lapse)	,589	,498	-,269	,668
db2 Fehler (error)	,823	-,119	-,242	,751
db3 Aggression (violation)	,829		,305	,788

Tabelle 33. Rotierte Faktorenmatrix Begleitfragebögen Straßenversuch

	Compo-			h_i^2
	nent			
	1	2	3	
er1 Ängstlichkeit, Furcht vor Überlastung oder Überforderung	-,330	-,575	,350	,562
er2 Begeisterung für die Technik	-,107	,853	,181	,771
er3 Selbstbewusstsein, Selbstsicherheit als Fahrer	,425	,708		,686
er4 Freude am Fahren	-,342	,738	-,151	,684
er5 Norm- und Regelorientierung	,114		,920	,859
db1 Schnitzer (lapse)	,888	,129		,807
db2 Fehler (error)	,902	-,158		,839
db3 Aggression (violation)	,715		,455	,720

Die beiden Faktorenanalysen zeigen essentiell das gleiche Ergebnis. Faktor 1 lässt sich zwanglos als *DBQ-Fehler*, Faktor 2 als *Freude an Technik und Fahren* und Faktor 3 als *Norm- und Regelorientierung* interpretieren. Der einzige Unterschied zwischen beiden Faktorenanalysen besteht darin, dass sich die Variable *er11, Ängstlichkeit und Furcht vor Überlastung oder Überforderung*, im Simulatorversuch dem Faktor 3, im Straßenversuch dem Faktor 2 (mit negativem Vorzeichen) zugeordnet hat. Im jeweils anderen Faktor hat sie noch eine nicht zu vernachlässigende Ladung von $a = -0,354$ bzw. $0,350$. Eine solche Verschiebung ist im Rahmen der hier bestehenden Streuungen nicht ungewöhnlich.

12.2.1 Interkorrelationsmatrizen I-TSA-Skalen und Begleitfragebögen

Die Validität der Persönlichkeits- und Einstellungsvariablen für die Auswirkungen der Versuchsbedingung *mit Bedienung* des Navigationssystems, ausgedrückt als I-TSA-Scores, wird jetzt anhand der Interkorrelationsmatrizen getrennt nach Simulator und Straßenversuch diskutiert. Die Interkorrelationsmatrix für den Simulatorversuch zeigt Tabelle 34.

Tabelle 34. Interkorrelationsmatrix I-TSA-Skalen und Faktorenwerte der Begleitfragebögen, Simulatorversuch

	I-TSA 1 Längs- führung	I-TSA 3 Quer- führung links	I-TSA 4 Quer- führung rechts	I-TSA 5a Quer- beschleu- nigung	I-TSA 5b Quer- beschleu- nigung Indikato- ren	I-TSA 6 Blick- bewegun- gen (EOR)	I-TSA 7 Lenk- bewegun- gen	I-TSA 8 Sicher- heitsurteil Fahrleh- rer
I-TSA 1 Längsführung	1	,026	-,205	,245	-,073	-,234	,127	,169
I-TSA 3 Querführung links	,026	1	,401(**)	,136	,399(**)	,135	,347(**)	,631(**)
I-TSA 4 Querführung rechts	-,205	,401(**)	1	,113	,189	,222	,054	,308(*)
I-TSA 5a Querbeschleunigung	,245	,136	,113	1	-,399(**)	-,198	-,012	,014
I-TSA 5b Querbeschleunigung Indikatoren	-,073	,399(**)	,189	-,399(**)	1	-,003	,187	,428(**)
I-TSA 6 Blickbewegungen (EOR)	-,234	,135	,222	-,198	-,003	1	-,100	,042
I-TSA 7 Lenkbewegungen	,127	,347(**)	,054	-,012	,187	-,100	1	,338(*)
I-TSA 8 Sicherheitsurteil Fahrlehrer	,169	,631(**)	,308(*)	,014	,428(**)	,042	,338(*)	1
I-TSA 9 RSME Mentale Beanspruchung	-,103	,189	-,117	,027	,016	-,225	,239	,151
I-TSA 10 Situationsbewusstsein	-,363(**)	-,024	,207	-,180	,106	,249	,096	-,027
DBQ-Fehler	,206	,095	-,062	-,004	-,130	,180	-,025	,063
Selbstsicherheit, Freude an Technik und Fahren	-,126	,032	,022	-,014	,211	,179	-,080	-,109
Ängstlichkeit, Normorientierung	-,073	,118	-,120	,086	-,077	,085	,228	,182
Selbstbeurteilung der Eingabehandlung	-,029	,052	-,092	,007	-,021	-,262	,103	,217

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung

	I-TSA 9 RSME Mentale Beanspruchung	I-TSA 10 Situationsbewusstsein	DBQ-Fehler	Selbstsicherheit, Freude an Technik und Fahren	Ängstlichkeit, Normorientierung	Selbstbeurteilung der Eingabehandlung
I-TSA 1 Längsführung	-,103	-,363(**)	,206	-,126	-,073	-,029
I-TSA 3 Querführung links	,189	-,024	,095	,032	,118	,052
I-TSA 4 Querführung rechts	-,117	,207	-,062	,022	-,120	-,092
I-TSA 5a Querbeschleunigung	,027	-,180	-,004	-,014	,086	,007
I-TSA 5b Querbeschleunigung Indikatoren	,016	,106	-,130	,211	-,077	-,021
I-TSA 6 Blickbewegungen (EOR)	-,225	,249	,180	,179	,085	-,262
I-TSA 7 Lenkbewegungen	,239	,096	-,025	-,080	,228	,103
I-TSA 8 Sicherheitsurteil Fahrlehrer	,151	-,027	,063	-,109	,182	,217
I-TSA 9 RSME Mentale Beanspruchung	1	,009	-,214	-,038	,242	,534(**)
I-TSA 10 Situationsbewusstsein	,009	1	-,286(*)	,032	-,088	-,042
DBQ-Fehler	-,214	-,286(*)	1	,003	,001	-,029
Selbstsicherheit, Freude an Technik und Fahren	-,038	,032	,003	1	,000	-,401(**)
Ängstlichkeit, Normorientierung	,242	-,088	,001	,000	1	,229
Selbstbeurteilung der Eingabehandlung	,534(**)	-,042	-,029	-,401(**)	,229	1

Die rot hinterlegten und mit zwei Sternchen „(**)“ versehenen Zellen enthalten auf 1 %-Niveau signifikante, die hellbraun hinterlegten und mit einem Sternchen „(*)“ versehenen Zellen auf 5 %-Niveau signifikante Korrelationen. Zur Verbesserung der Übersicht wurden die Diagonalzellen grau hinterlegt.

Die Tabelle enthält einige sehr signifikante Interkorrelationen mittlerer Höhe zwischen einzelnen I-TSA-Variablen. Diese zeigen, dass die I-TSA-Skalen nicht vollständig orthogonal zueinander sind, obwohl sie in Orientierung an orthogonale Faktoren einer vorangegangenen Faktorenanalyse gebildet worden sind. Das resultiert aus den Nebenladungen der Variablen in den Faktoren, denen sie nicht zugeordnet wurden. Insbesondere I-TSA 3 *Querführung links* korreliert deutlich mit I-TSA 4 *Querführung rechts* und I-TSA 5b *Querbeschleunigung Indikatoren*. I-TSA 8 *Sicherheitsurteil Fahrlehrer* hat signifikante Korrelationen mit I-TSA 3 *Querführung links*, I-TSA 4 *Querführung rechts*, I-TSA 5b *Querbeschleunigung Indikatoren* und I-TSA 7 *Lenkbewegungen*. Das zeigt, dass sich das Sicherheitsurteil der Fahrlehrerin, wahrscheinlich nicht unbedingt bewusst, am stärksten an der Querführung orientierte. Die drei Faktoren der Begleitfragebögen weisen untereinander nur Interkorrelationen mit einem Zahlenwert von 0,000 mit kleinen Rundungsabweichungen auf. Das ist nur eine numerische Kontrolle, denn diese Interkorrelationen beruhen auf Faktorenwerten orthogonal rotierter Faktorenanalysen, die diesen Wert haben müssen. Von den drei Fragebogenfaktoren hat nur ein einziger eine signifikante Interkorrelation mit einer I-TSA-Skala, und zwar *DBQ-Fehler* mit *I-TSA 10 Situationsbewusstsein*. Da die DBQ-Skalen so codiert wurden, dass eine hohe Zahl dem Häufig-Pol entspricht, und da bei *I-TSA 10 Situationsbewusstsein* eine hohe Zahl eine niedrige Beeinträchtigung der Sicherheit ausdrückt, besagt diese negative Korrelation eine geringere Sicherheitsbeeinträchtigung in der Versuchsbedingung bei den Personen, die weniger DBQ-Fehler angeben. Insgesamt bedeutet dieses Resultat, dass die Verhaltensänderung unter der Versuchsbedingung *mit Bedienung*, wie sie von den I-TSA-Skalen objektiv gemessen wird, mit den hier verwendeten Persönlichkeits- und Einstellungsvariablen nicht voraussagbar ist. Da die Persön-

lichkeits- und Einstellungsvariablen aber, wie im Abschnitt 6.4 gezeigt, eine gute Skalenqualität aufweisen, kann das nicht an Mängeln dieser Skalen liegen. Es dürfte sich vielmehr um eine neue Manifestation des altbekannten psychologischen Phänomens handeln, dass Einstellungsmaße Verhalten, erst recht im sensumotorischen Bereich, um den es hier geht, nicht gut voraussagen. Die Annahme des hier zugrunde gelegten Unfallenstehungsmodells, dass sich mit Fragebögen der verwendeten Art habituelle Verhaltenshintergründe messen lassen, die nennenswerte Varianzanteile an der Veränderung der Fahrfehlerhäufigkeit unter der Versuchsbedingung erklären (vgl. Abbildung 1), hat sich nicht bestätigt.

Aus den Begleitfragebögen soll die *Selbstbeurteilung der Eingabehandlung* noch kurz interpretiert werden. Die Skala teilt die Eigenschaft der anderen Fragebogenvariablen, die objektiven I-TSA-Maße nicht vorauszusagen. Die Ausnahme ist *I-TSA 9 RSME*. Diese hochsignifikante mittlere Korrelation verwundert aber nicht, denn auch *RSME* ist eine subjektive Selbsteinschätzung. Die Korrelation bestätigt also nur die Konsistenz der „subjektiven Seite“ dieser multivariaten Untersuchung. Die ebenfalls hochsignifikante Korrelation mit dem Fragebogenfaktor *Selbstsicherheit, Freude an Technik und Fahren* ist sehr plausibel: Wer gerne fährt und Spaß an der Technik hat, fühlt sich zumindest subjektiv durch die Bedienhandlung weniger beeinträchtigt. (Das Minuszeichen folgt aus der Codierung der Fragebogenvariablen.)

Bei der Interpretation dieser Daten für die Fragebogenfaktoren ist zu berücksichtigen, dass die I-TSA-Skalen in Tabelle 34 und Tabelle 35 die Veränderung in den entsprechenden Sicherheitsdimensionen durch die Versuchsbedingung wiedergeben, und nicht etwa den personspezifischen Basiswert der jeweiligen Sicherheitsdimension. Dieser Frage wird weiter unten noch nachgegangen.

Die Interkorrelationsmatrix für den Straßenversuch zeigt Tabelle 35.

Tabelle 35. Interkorrelationsmatrix I-TSA-Skalen und Faktorenwerte der Begleitfragebögen, Straßenversuch

	I-TSA 1 Längsführung	I-TSA 2 Gas und Längsbeschleunigung	I-TSA 5a Querbeschleunigung	I-TSA 6 Blickbewegungen (EOR)	I-TSA 7 Lenkbewegungen	I-TSA 8 Sicherheitsurteil Fahrer
I-TSA 1 Längsführung	1	,343(**)	,202	,129	-,193	-,039
I-TSA 2 Gas und Längsbeschleunigung	,343(**)	1	,112	-,170	,065	-,150
I-TSA 5a Querbeschleunigung direkt gemessen	,202	,112	1	,051	,083	,312(*)
I-TSA 6 Blickbewegungen (EOR)	,129	-,170	,051	1	,027	,090
I-TSA 7 Lenkbewegungen	-,193	,065	,083	,027	1	,500(**)
I-TSA 8 Sicherheitsurteil Fahrer	-,039	-,150	,312(*)	,090	,500(**)	1
rsmescore Score RSME Mentale Beanspruchung	-,122	,113	,150	-,086	,306(*)	-,025
DBQ-Fehler	,232	-,162	,053	-,111	-,165	-,185
Selbstsicherheit, Freude an Technik und Fahren	,038	,011	-,266(*)	-,086	,059	,146
Ängstlichkeit, Normorientierung	,080	-,052	,184	,079	,333(**)	,318(*)
Selbstbeurteilung der Eingabehandlung	-,011	,254	,137	,085	,280(*)	-,012

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung

	I-TSA 9 RSME Mentale Beanspruchung	DBQ-Fehler	Selbstsicherheit, Freude an Technik und Fahren	Ängstlichkeit, Normorientierung	subj Selbstbeurteilung der Eingabehandlung
I-TSA 1 Längsführung	-,122	,232	,038	,080	-,011
I-TSA 2 Gas und Längsbeschleunigung	,113	-,162	,011	-,052	,254
I-TSA 5a Querbeschleunigung direkt gemessen	,150	,053	-,266(*)	,184	,137
I-TSA 6 Blickbewegungen (EOR)	-,086	-,111	-,086	,079	,085
I-TSA 7 Lenkbewegungen	,306(*)	-,165	,059	,333(**)	,280(*)
frlurtsi I-TSA 8 Sicherheitsurteil Fahrlehrer	-,025	-,185	,146	,318(*)	-,012
rsmescore Score RSME Mentale Beanspruchung	1	-,021	-,167	,168	,590(**)
DBQ-Fehler	-,021	1	,000	,000	-,269(*)
Selbstsicherheit, Freude an Technik und Fahren	-,167	,000	1	,000	-,308(*)
Ängstlichkeit, Normorientierung	,168	,000	,000	1	,060
Selbstbeurteilung der Eingabehandlung	,590(**)	-,269(*)	-,308(*)	,060	1

Die signifikanten Interkorrelationen der I-TSA-Skalen betrafen im Simulatorversuch hauptsächlich die Querführungsvariablen, die im Straßenversuch nicht gemessen werden konnten. Entsprechend kleiner ist jetzt die Zahl der Interkorrelationen zwischen den I-TSA-Skalen. Das Sicherheitsurteil der Fahrlehrerin zeigt wie im Simulatorversuch eine Interkorrelation mit *I-TSA 7 Lenkbewegungen* und mit *I-TSA 5a Querbeschleunigung*. Letzteres könnte daher rühren, dass die anderen Querführungsvariablen im Straßenversuch fehlen. Die Fragebogenvariablen weisen jetzt einige interessante Korrelationen mit I-TSA-Skalen auf. So korreliert *Selbstsicherheit, Freude an Technik und Fahren* mit *I-TSA 5a Querbeschleunigung*. Fahrer mit einem hohen Maß an Selbstsicherheit haben auch den höchsten Sicherheitsgewinn bei der Querbeschleunigung in der Versuchsbedingung *mit Bedienung*. (Das Minuszeichen der Korrelation resultiert aus der Skalierung der Fragebögen, vgl. Abschnitt 6.4.1). *Ängstlichkeit, Normorientierung* korreliert mit *I-TSA 7 Lenkbewegungen* und *I-TSA 8 Sicherheitsurteil Fahrlehrer*. Das positive Vorzeichen bedeutet, dass Fahrer, die nicht ängstlich und nicht normorientiert sind, einen höheren I-TSA-Wert haben, also im Vergleich zu den anderen Fahrern in der Versuchsbedingung *mit Bedienung* weniger mental beansprucht sind und im Fahrlehrerurteil weniger Sicherheit verlieren.

Die *Selbstbeurteilung der Eingabehandlung* korreliert, wie im Simulatorversuch, beträchtlich mit *I-TSA 9 RSME, mentale Beanspruchung*. Das verwundert wenig, sind doch beide subjektive Maße für die mentale Beanspruchung. Ebenso korreliert sie mit *Selbstsicherheit, Freude an Technik und Fahren*. Hier bedeutet das negative Vorzeichen, dass Fahrer mit hoher *Selbstsicherheit, Freude an Technik und Fahren* eine niedrige Beeinträchtigung durch die Bedienhandlung erleben. Schließlich korreliert die *Selbstbeurteilung der Eingabehandlung* noch mit dem Faktor *DBQ-Fehler*. Das negative Vorzeichen besagt hier, dass Fahrer, die im DBQ mehr Fehler nennen, sich auch durch die Bedienhandlung stärker beeinträchtigt fühlen.

12.2.2 Multiple Regressionen der I-TSA-Skalen auf die Begleitfragebögen

Die vor allem im Straßenversuch erhaltenen einzelnen Korrelationen zwischen Fragebogenvariablen und I-TSA-Skalen legten es nahe, die dahinter stehenden Zusammenhänge mit Hilfe von multiplen Korrelationen genauer auszuloten. Deshalb wurden die multiplen Regressionen der I-TSA-Skalen auf die Fragebögen berechnet. Die Fragebögen gingen in diese Berechnungen, genau wie in die Interkorrelationsmatrizen, mit den zuletzt berechneten Faktorenwerten für *DBQ-Fehler, Selbstsicherheit, Freude an Technik und Fahren* sowie *Ängstlichkeit, Normorientierung* als Prä-

diktoren ein. Damit war ein mögliches Kollinearitätsproblem beseitigt. Als Kriteriumsvariablen wurden jetzt nicht nur die I-TSA-Skalen, sondern auch die Maßzahlen für Kontroll- und Versuchsbedingung verwendet, deren standardisierte Differenzen die I-TSA-Skalen bilden.

Die drei folgenden Tabellen zeigen die standardisierten β -Gewichte der multiplen Regression der I-TSA-Komponenten bzw. der I-TSA-Skalen auf die Faktoren zu den Fragebogenvariablen in der Reihenfolge Kontrollbedingung, Versuchsbedingung, I-TSA-Skalen für den Simulatorversuch.

Tabelle 36. Standardisierte β -Gewichte der multiplen Regression der I-TSA-Komponenten auf die Faktoren von DBQ und Fahrerleben. Die Zahlen in Klammern geben die Überschreitungswahrscheinlichkeit beim Test der Nullhypothese an. Signifikante β -Gewichte sind hellbraun (5 %) oder rot (1 %) hinterlegt. Simulatorversuch

	I-TSA 1 Längs- führung	I-TSA 3 Quer- führung links	I-TSA 4 Quer- führung rechts	I-TSA 5a Quer- be- schleu- nung	I-TSA 5b Quer- be- schleu- nung Indika- toren	I-TSA 6 Blick- bewe- gun- gen (EOR)	I-TSA 7 Lenk- bewe- gun- gen	I-TSA 8 Sicher- heitsur- teil Fahr- lehrer	I-TSA 9 RSME Mentale Beans- pruch- ung	I-TSA 10 Situ- ations- be- wusst- sein
Kontrollbedingung										
DBQ-Fehler	,146 (0,283)	,337 (0,014)	,021 (0,878)	,148 (0,275)	,048 (0,726)	-,102 (0,470)	,111 (0,428)	,158 (0,253)	-,006 (0,960)	,207 (0,138)
Selbstsicherheit, Freu- de an Technik und Fahren	-,037 (0,783)	-,010 (0,941)	-,169 (0,228)	-,210 (0,123)	-,259 (0,062)	-,046 (0,746)	-,059 (0,672)	-,112 (0,418)	,511 (0,000)	-,120 (0,387)
Ängstlichkeit, Norm- orientierung	,260 (0,060)	,134 (0,314)	-,128 (0,358)	,190 (0,163)	-,114 (0,406)	,046 (0,744)	,126 (0,371)	-,175 (0,206)	-,200 (0,096)	,024 (0,864)
Versuchsbedingung										
DBQ-Fehler	,042 (0,747)	,187 (0,183)	,068 (0,627)	,223 (0,088)	,113 (0,402)	-,202 (0,143)	,084 (0,554)	,059 (0,671)	,212 (0,104)	-,283 (0,039)
Selbstsicherheit, Freu- de an Technik und Fahren	,039 (0,767)	-,030 (0,831)	-,196 (0,162)	-,299 (0,024)	-,292 (0,035)	-,174 (0,206)	,013 (0,925)	,003 (0,983)	,207 (0,111)	-,090 (0,502)
Ängstlichkeit, Norm- orientierung	,372 (0,007)	,017 (0,903)	-,049 (0,724)	,199 (0,127)	-,018 (0,895)	-,049 (0,718)	-,064 (0,653)	-,238 (0,089)	-,309 (0,020)	-,137 (0,311)
I-TSA-Skalen										
DBQ-Fehler	,206 (0,138)	,094 (0,502)	-,062 (0,662)	-,004 (0,979)	-,130 (0,344)	,180 (0,193)	-,025 (0,858)	,063 (0,650)	-,214 (0,116)	-,287 (0,039)
Selbstsicherheit, Freu- de an Technik und Fahren	-,126 (0,360)	,031 (0,824)	,023 (0,872)	-,014 (0,922)	,211 (0,129)	,179 (0,195)	-,080 (0,561)	-,109 (0,434)	-,037 (0,782)	,033 (0,810)
Ängstlichkeit, Norm- orientierung	-,073 (0,596)	,118 (0,403)	-,120 (0,397)	,086 (0,544)	-,077 (0,578)	,085 (0,538)	,228 (0,103)	,182 (0,194)	,242 (0,076)	-,087 (0,519)

Im Simulatorversuch zeigen sich, wie schon in den Interkorrelationsmatrizen, auch bei den multiplen Regressionen nur wenige Signifikanzen. Deren Anzahl ist für die Maße in der Kontroll- und in der Versuchsbedingung, deren standardisierte Differenzen die I-TSA-Skalen bilden, deutlich höher als bei den I-TSA-Skalen, bei denen sich nur ein signifikanter Wert findet. Das ist ein sehr wichtiger Befund. Er bedeutet, dass die personspezifischen Maße in der Kontroll- und der Versuchsbedingung deutlich besser aus den Fragebogenvariablen vorausgesagt werden können, als deren Veränderung durch die Versuchsbedingung, die die I-TSA-Skalen wiedergeben.

In der Kontrollbedingung befinden sich nur zwei signifikante standardisierte Regressionskonstanten β , von I-TSA 3 *Querführung links* auf *DBQ-Fehler*, wonach Fahrer, die im DBQ mehr Fehler nennen, auch mehr Fehler in der Querführung links begehen, und von I-TSA 9 *RSME* auf *Selbstsicherheit, Freude an Technik und Fahren*, wonach Personen mit hoher Selbstsicherheit eine niedrigere mentale Beanspruchung beim Fahren ankreuzen. Bei der Interpretation der Vorzeichen ist hier zu beachten, dass bei den Rohmaßen vor der Bildung der I-TSA-Skalen, also in Kontroll-

und Versuchsbedingung, wenn diese noch getrennt betrachtet werden, große Zahlen einen hohen Fehlerbetrag, also eine niedrige Sicherheit, bedeuten und bei *Selbstsicherheit, Freude an Technik und Fahren* eine hohe Ausprägung der Variablen einer niedrigen Maßzahl entspricht.

In der Versuchsbedingung finden sich fünf standardisierte Regressionskonstanten β . I-TSA 1 *Längsführung* hat einen signifikanten Prädiktor in *Ängstlichkeit, Normorientierung*. Normorientierung prädiziert von allen Fahrfehlern am besten diejenigen der Längsführung. Wer hoch normorientiert ist, begeht weniger Geschwindigkeitsverstöße, die in I-TSA 1 enthalten sind, ist aber nicht unbedingt in der Lage, die höhere Normorientierung auch in eine stärkere Vermeidung der anderen Fahrfehler umzusetzen. I-TSA 5a *Querbeschleunigung* und I-TSA 5b *Querbeschleunigung Indikatoren* werden signifikant von *Selbstsicherheit, Freude an Technik und Fahren* prädiziert. Wer selbstsicher ist und gerne fährt, macht bei diesen Variablen für flottes Fahren mehr Fehler. I-TSA 9 *RSME* wird von *Ängstlichkeit, Normorientierung* prädiziert. Ängstlichere und stärker normorientierte Personen fühlen sich beim Fahren stärker mental beansprucht. Das ist in der Kontrollbedingung durchaus auch erkennbar, verfehlt dort aber die Signifikanzgrenze. Schließlich regrediert I-TSA 10 *Situationsbewusstsein* signifikant auf *DBQ-Fehler*. Fahrer, die viele DBQ-Fehler nennen, zeigen ein geringeres Situationsbewusstsein. Das ist ein durchaus sinnvoller Zusammenhang, der, wie auch die anderen Korrelationen mit *DBQ-Fehler* zeigt, dass die DBQ-Fragen eher „ehrlich“ als im Sinne sozialer Erwünschtheit beantwortet werden. Fahrer, die mehr DBQ-Fehler nennen, machen auch mehr Fehler.

Die folgende Tabelle enthält die standardisierten β -Gewichte der multiplen Regression der I-TSA-Komponenten bzw. der I-TSA-Skalen auf die Faktoren zu den Fragebogenvariablen in der Reihenfolge Kontrollbedingung, Versuchsbedingung, I-TSA-Skalen für den Straßenversuch.

Tabelle 37. Standardisierte β -Gewichte der multiplen Regression der I-TSA-Komponenten auf die Faktoren von DBQ und Fahrerleben. Die Zahlen in Klammern geben die Überschreitungswahrscheinlichkeit beim Test der Nullhypothese an. Signifikante β -Gewichte sind hellbraun (5 %) oder rot (1 %) hinterlegt. Straßenversuch

I-TSA-Skala → Faktorenwerte Begleitfragebögen ↓	I-TSA 1 Längs- führung	I-TSA 2 Gas und Längs- beschleu- nigung	I-TSA 5a Quer- beschleu- nigung	I-TSA 6 Blick- bewegun- gen (EOR)	I-TSA 7 Lenk- bewegun- gen	I-TSA 8 Sicherheits- urteil Fahr- lehrer	I-TSA 9 RSME Mentale Beans- pruchung
Kontrollbedingung							
DBQ-Fehler	,213 (0,080)	,095 (0,438)	,264 (0,026)	-,011 (0,932)	,181 (0,162)	,039 (0,770)	,280 (0,031)
Selbstsicherheit, Freude an Technik und Fahren	-,255 (0,037)	-,414 (0,001)	-,420 (0,001)	-,070 (0,606)	-,265 (0,042)	,043 (0,752)	,204 (0,112)
Ängstlichkeit, Normori- entierung	,324 (0,009)	,016 (0,900)	,157 (0,179)	-,029 (0,831)	-,026 (0,842)	-,075 (0,578)	-,051 (0,689)
Versuchsbedingung							
DBQ-Fehler	,075 (0,519)	,169 (0,169)	,324 (0,006)	,035 (0,797)	,208 (0,106)	,134 (0,305)	,123 (0,342)
Selbstsicherheit, Freude an Technik und Fahren	-,371 (0,002)	-,400 (0,002)	-,422 (0,000)	-,031 (0,819)	-,255 (0,049)	-,048 (0,710)	,222 (0,090)
Ängstlichkeit, Normori- entierung	,356 (0,003)	,040 (0,743)	,114 (0,317)	-,060 (0,660)	-,114 (0,372)	-,236 (0,074)	-,165 (0,204)
I-TSA-Skalen							
DBQ-Fehler	,232 (0,081)	-,162 (0,229)	,053 (0,679)	-,111 (0,407)	-,165 (0,193)	-,185 (0,141)	-,021 (0,873)
Selbstsicherheit, Freude an Technik und Fahren	,038 (0,774)	,011 (0,933)	-,266 (0,041)	-,086 (0,523)	,059 (0,638)	,146 (0,245)	-,167 (0,207)
Ängstlichkeit, Normori- entierung	,080 (0,542)	-,052 (0,697)	,184 (0,154)	,079 (0,555)	,333 (0,010)	,318 (0,013)	,168 (0,204)

Kontroll- und Versuchsbedingung zeigen jetzt ein grundsätzlich ähnliches, jedoch in Anzahl und Verteilung der Signifikanzen sehr viel prägnanteres Bild als im Simulatorversuch. I-TSA 1

Längsführung wird von *Selbstsicherheit, Freude an Technik und Fahren* und von *Ängstlichkeit, Normorientierung* deutlich prädiziert. Wer gerne fährt und wer weniger ängstlich und normorientiert ist, macht hier mehr Fehler. Wieder gilt, dass *Ängstlichkeit, Normorientierung* nur Fehler auf I-TSA 1 *Längsführung*, aber keine anderen voraussagt. I-TSA 2 *Gas und Längsbeschleunigung* sowie I-TSA 5a *Querb beschleunigung* haben signifikante β -Gewichte auf *Selbstsicherheit, Freude an Technik und Fahren*. Wer gerne fährt, macht hier ebenso wie bei I-TSA 1 mehr Fehler. Speziell I-TSA 5a *Querb beschleunigung* wird auch noch von *DBQ-Fehler* prädiziert: Wer mehr *DBQ-Fehler* zugibt, macht auch mehr Querb beschleunigungsfehler, fährt also flotter. Anders als im Simulatorversuch spricht jetzt auch I-TSA 7 *Lenkbewegungen* auf einen Prädiktor, *Selbstsicherheit, Freude an Technik und Fahren*, an. Wer gerne fährt, erscheint dabei im objektiven Maß der Lenkbewegungen mental stärker beansprucht. Das erscheint kontraintuitiv und steht im Gegensatz zu den Vorzeichen der allerdings nicht signifikanten β -Werte für I-TSA 9 *RSME*. Ein Erklärungsversuch könnte in der Annahme bestehen, dass Fahrer mit *Selbstsicherheit* und *Freude am Fahren* bei ihren Lenkbewegungen mit höheren Frequenzen regeln als Fahrer, die ungerne und weniger selbstsicher fahren, und das trotz der Tatsache, dass innerhalb einer Person eine höhere Lenkfrequenz eine höhere Beanspruchung anzeigt. Diese Annahme bedarf wohl künftiger Klärung. In der Kontrollbedingung zeigt schließlich noch I-TSA 9 *RSME* eine signifikante Regression auf *DBQ-Fehler*. Sie besagt, dass sich beim Fahren höher beansprucht fühlt, wer im DBQ mehr Fehler nennt.

Bei den I-TSA-Skalen ergaben sich nur drei signifikante Regressionskoeffizienten. Das bestätigt den schon im Simulatorversuch erhaltenen Befund, dass die Persönlichkeits- und Einstellungsvariablen eher etwas wie ein persönliches Grundmaß der Fehlerstärke, als die Veränderung der Fehlerstärke durch die Versuchsbedingung voraussagen. Vor allem I-TSA 7 *Lenkbewegungen* als objektives Maß für mentale Beanspruchung hat einen hoch signifikanten β -Wert auf *Ängstlichkeit, Normorientierung*. Mit seinem positiven Vorzeichen bedeutet er, dass die am wenigsten ängstlichen und normorientierten Fahrer auch die geringste Belastungssteigerung durch die Versuchsbedingung mit *Bedienung* zeigen. In die gleiche Richtung weist das signifikante β zwischen I-TSA 8 *Sicherheitsurteil Fahrlehrer* und *Ängstlichkeit, Normorientierung*.

Die Höhe der hier gefundenen standardisierten Regressionskoeffizienten erscheint angesichts von Zahlenwerten zwischen 0,300 und 0,450 in den sehr signifikanten Zellen bestenfalls als „mittel“ und nicht als besonders hoch. In der Forschung über Zusammenhänge zwischen Einstellung und Verhalten werden Regressionskoeffizienten in dieser Höhe aber schon als sehr gute Theoriebestätigungen angesehen (zum Einhalten von Geschwindigkeitsbegrenzungen z. B. Elliott, Armittage & Baughan, 2003).

12.3 Zusammenfassung I-TSA-Skalen und Personenvariablen

Zusammenfassend kann also festgehalten werden: Die Aufteilung aller Vpn nach Altersgruppen führt kaum zu signifikanten Differenzen zwischen den Gruppen in den I-TSA-Skalen. Das dürfte hauptsächlich daher rühren, dass die eigentlich verkehrsauffälligen Altersgruppen, Fahranfänger mit weniger als fünf Jahren Fahrpraxis und jüngere Fahrer im Alter unter 23 Jahren sowie Fahrer mit merklichen Symptomen von Altersabbau deutlich jenseits des 65. Lebensjahres in den Stichproben nicht vertreten waren.

Die Fragebogenvariablen zu Persönlichkeit und Einstellung haben nach der Zusammenfassung zu drei Faktoren, die auch den DBQ einschließen, im Straßenversuch durchaus Validitäten in einer Höhe, die in der Persönlichkeitsdiagnostik akzeptiert ist, für die I-TSA-Variablen der Längs- und Querbeführung erreicht. Sie sagen dabei eher etwas wie einen persönlichen Grundwert in Kontroll- und Versuchsbedingung, als die Veränderung durch die Versuchsbedingung voraus. Vor allem geht eine hohe *Selbstsicherheit, Freude an Technik und Fahren* mit erhöhten Fehlerwerten in den I-TSA-Variablen der Längsführung und der Querb beschleunigung einher. Darin drückt sich unzweifelhaft die „flottere“ Fahrweise dieser Personen aus. Nach der Theorie des vorliegenden I-TSA-

Verfahrens müssten diese Fahrer auch höhere Unfallwahrscheinlichkeiten und –häufigkeiten aufweisen, was möglicherweise nicht zutrifft. Zur Sicherung der theoretischen Grundlagen des I-TSA-Verfahrens sollte diese Frage künftig genauer verfolgt werden.

13 Zusammenfassende Bewertung

Die hier entwickelte Auswertetechnik liefert in Verbindung mit Prüfexperimenten, die nach den angegebenen Prinzipien geplant und durchgeführt werden, eine überschaubare Zahl gut interpretierbarer Skalen, die für die wichtigsten Wirkungen von FIS/FAS auf die Verkehrssicherheit hoch sensitiv sind. Simulator- und Straßenfahrten erscheinen gleich gut geeignet für die nötigen Experimente. Für Simulatorexperimente spricht die Möglichkeit, die Reaktion auf zeitkritische Situationen wie plötzlich auftauchendes Hindernis oder Lichtzeichenwechsel systematisch zu untersuchen. Diese Variable sollte bei künftigen Anwendungen des Verfahrens auf eine breitere statistische Basis als im vorliegenden Experiment gestellt werden. Der Bereich Querführung hat sich im Simulatorexperiment als so bedeutend herausgestellt, dass er auch bei Straßenversuchen nicht ausgelassen werden sollte, auch wenn der Aufwand für die nötige Messtechnik sehr hoch ist.

Wie die Faktorenanalysen gezeigt haben, hat ein eindimensionales Konzept von *Sicherheit* wenig Sinn. Ein brauchbarer Begriff braucht vielmehr orthogonale Komponenten, die durch einzelne FIS/FAS in voneinander unabhängiger Art und Weise beeinflusst werden. So erscheint es plausibel, dass ein Spurhalteassistenzsystem auf die Faktoren I-TSA 3, I-TSA 4 und I-TSA 5b eine ähnlich hohe positive Wirkung haben würde, wie im vorliegenden Versuch ACC auf I-TSA 1, I-TSA 2 und I-TSA 5a.

Diese Untersuchung konnte zu den Faktoren *Längsführung* (I-TSA 1 und 2), *Querführung* (I-TSA 3 bis 5), *Blickbewegung* (I-TSA 6) und *Lenkbewegungen* (I-TSA 7) erheblich beitragen. Über die Verwendung des methodisch gewonnenen Expertenurteils (*Fahrlehrer*, I-TSA 8) kann aufgrund der Resultate fundiert entschieden werden. Sie sprechen ebenso gut auf die Versuchsbedingungen an wie die I-TSA-Maße und korrelieren dabei vor allem mit den Querführungsskalen. Andere, hier nicht berücksichtigte Faktoren, etwa Kreuzen und Abbiegen oder Verhalten gegenüber Fußgängern und Radfahrern, sollten auf der Basis weiterer Experimente in das Verfahren aufgenommen werden.

Bei den hier wiedergegebenen Auswertungen wurde der Standardisierungsmittelwert, der Skalenwert 100, stets auf die Kontrollbedingung in einem Experiment gelegt. Das ist nicht zwingend erforderlich. Bei größeren Versuchsreihen kann dafür ein gemeinsamer Mittelwert über mehrere Experimente hinweg verwendet werden, so dass sich auch Veränderungen über mehrere Experimente und Zeiträume hinweg präzise erkennen lassen. Am Ende einer längeren Reihe von Anwendungen dürfte sich dafür schließlich ein allgemeiner, einer großen Zahl von Anwendungen zugrunde zu legender Basiswert berechnen lassen. Damit hätte man dann ein Testsystem mit einem objektiven Standard.

Zusammenfassend betrachtet liefert das hier vorgeschlagene Verfahren Entwicklern von FIS/FAS-Systemen die dringend benötigte zuverlässige, quantitative und nach Faktoren differenzierende Information über deren Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit, immer im Vergleich zu geeignet gewählten Kontrollbedingungen.

14 Literatur

- Arnett, J. (1994). Sensation seeking: A new conceptualization and a new scale. *Personality and Individual Differences, 16*, 289-296.
- Bonsall, P., Liu, R., & Young, W. (2005). Modelling safety-related driving behaviour – impact of parameter values. *Transportation Research, Part A, 39*, 425-444.
- Brookhuis, K. A. (1995). Driver impairment monitoring system. In M. Vallet & S. Khaldi (Eds.), *Vigilance et transports. Aspects fondamentaux, dégradation et prévention* (pp. 287-297). Lyon, France: Presses Universitaires de Lyon.
- Campbell, D. R., & Stanley, J. C. (1963). *Experimental and quasi-experimental designs for research*. Boston, MA, U.S.A. etc.: Houghton Mifflin Company.
- Curry, R., Greenberg, J., & Blanco, M. (2002). *An alternate method to evaluate driver distraction*. Paper presented at ITS America 12th Annual Meeting and Exposition. Long Beach: California.
- Deffenbacher, J. L., Oetting, E. R., & Lynch, R. S. (1994). Development of a driving anger scale. *Psychological Reports, 74*, 83-91.
- Dutch, S. (2005). *Converting UTM to latitude and longitude (or vice versa)*.
<http://www.uwgb.edu/dutchs/UsefulData/UTMFormulas.htm> (05.01.2005).
- Ebersbach, D. & Mayser, C. (2004). Curve-speed Assistant – Unterstützung des Fahrers bei der Wahl seiner Geschwindigkeit auf Außerortsstraßen. In VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik (Hrsg.), *Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme* (S. 497-529). Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Berichte 1864.
- Eilers, K., Nachreiner, F. & Hänecke K. (1986). Entwicklung und Überprüfung einer Skala zur Erfassung subjektiv erlebter Anstrengung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 40*, 215-224.
- Elliott, M. A., Armitage, C. J., & Baughan, C. J. (2003). Driver's compliance with speed limits: An application of the theory of planned behavior. *Journal of Applied Psychology, 88*, 964-972.
- Endsley, M. R. (2000a). Theoretical underpinnings of situation awareness: A critical review. In M. R. Endsley & D. J. Garland (Eds.), *Situation awareness, analysis and measurement* (pp. 3-32). Mahwah, NJ, U.S.A.: Lawrence Erlbaum.
- Endsley, M. R. (2000b). Direct measurement of situation awareness: Validity and use of SAGAT. In M. R. Endsley & D. J. Garland (Eds.), *Situation awareness, analysis and measurement* (pp. 147-173). Mahwah, NJ, U.S.A.: Lawrence Erlbaum.
- Endsley, M. R., & Garland, D. J. (Eds.). (2000). *Situation awareness, analysis and measurement*. Mahwah, NJ, U.S.A.: Lawrence Erlbaum.
- Färber, B. & Färber, B. (2003). *Auswirkungen neuer Informationstechnologien auf das Fahrverhalten*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Mensch und Sicherheit, Heft M 149. Wirtschaftsverlag NW. ISBN 3-89701-978-7.
- Fastenmeier, W. (1995a). Die Verkehrssituation als Analyseeinheit im Verkehrssystem. In W. Fastenmeier (Hrsg.), *Autofahrer und Verkehrssituation. Neue Wege zur Bewertung von Sicherheit*

- und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme* (S. 27-78). In H. Häcker (Serien-Hrsg.), *Mensch-Fahrzeug-Umwelt*, Bd. 33. Köln: Verlag TÜV Rheinland.
- Fastenmeier, W. (Hrsg.). (1995b). *Autofahrer und Verkehrssituation. Neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme*. In H. Häcker (Serien-Hrsg.), *Mensch-Fahrzeug-Umwelt*, Bd. 33. Köln: Verlag TÜV Rheinland.
- Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme, Dresden [IVI] & Technische Universität Dresden, Professur für Verkehrspsychologie [TUD] (Hrsg.). (2005). *INVENT-Teilprojekt Fahrerverhalten / MMI (FVM), Arbeitspaket 3100: Entwicklung eines Bewertungsverfahrens, Abschlussbericht, Version 3.1, 15. März 2005*. Bearbeiter (alphabetisch): Böttcher, S., Nirschl, G., Schlag, B., Voigtländer, M. & Weller, G. Dresden: Herausgeber (unveröffentlicht).
- Green, M. (2000). „How long does it take to stop?“ Methodological analysis of driver perception-brake times. *Transportation Human Factors*, 2, 195-216.
- Hirst, S., & Graham, R. (1997). The format and presentation of collision warnings. In Y. I. Noy (Ed.), *Ergonomics and safety of intelligent driver interfaces*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Hollnagel, E. (2004). *Barriers and accident prevention*. Aldershot, Hampshire, England: Ashgate.
- IVI & TUD (2005) siehe Fraunhofer-Institut ...
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models. Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Lechner, D., & Perin, C. (1992). The actual use of the dynamic performance of vehicles. *Ingenieurs de l'automobile*, 11/12.
- Leplat, J. (1987). Accidents and incidents production: Methods of analysis. In J. Rasmussen, K. Duncan & J. Leplat (Eds.) *New technology and human error* (pp. 133-142). New York, NY, U.S.A. etc.: John Wiley & Sons.
- MacDonald, W., & Hoffmann, E. R. (1980). Review of relationships between steering wheel reversal rate and driving task demand. *Human Factors*, 22, 733-739.
- Mayer-Eppler, W. (1969). *Grundlagen und Anwendungen der Informationstheorie*. 2. Aufl. Berlin usw.: Springer.
- Minderhoud, M. M., & Bovy, P. H. L. (2001). Extended time-to-collision measures for road traffic safety assessment. *Accident Analysis & Prevention*, 33, 89-97.
- Nirschl, G., Böttcher, S., Schlag, B. & Weller, G. (2004). Verfahren zur Bewertung der Verkehrssicherheit von Fahrerassistenzsystemen durch objektive Erfassung von Fehlerrisiken. In VDI Wissensforum IWB GmbH (Hrsg.): *21. Internationale VDI/VW-Gemeinschaftstagung Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme, Tagung Wolfsburg, 27. und 28. Oktober 2004* (S. 397-420). Düsseldorf: VDI-Verlag (VDI-Berichte 1864).

- Nakayama, O., Futami, T., Nakamura, T., & Boer, E. R. (1999). Development of a steering entropy method for evaluating driver workload. *SAE Technical Paper Series 1999-01-0892*. Warrendale, PA, U.S.A.: SAE International.
- Nemoto, H., Yanagishima, T., Taguchi, M., & Wood, J. M. (2002). Driving workload comparison between older and younger drivers using the steering entropy method. *SAE Technical Paper Series 2002-01-1080*. Warrendale, PA, U.S.A.: SAE International.
- Parker, D., Reason, J. T., Manstead, A. S. R., & Stradling, S. G. (1995). Driving errors, driving violations and accident involvement. *Ergonomics*, 38, 1036-1048.
- Pew, R. W. (1974). Human perceptual-motor performance. In B. H. Kantowitz (Ed.), *Human information processing: Tutorials in performance and cognition* (pp. 1-39). Hillsdale, NJ, U.S.A.: Lawrence Erlbaum.
- Rasmussen, J. (1980). What can be learned from human error reports? In K. Duncan, M. Gruneberg, & D. Wallis (Eds.), *Changes in working life*. London: John Wiley & Sons.
- Reason, J., Manstead, A., Stradling, S., Baxter, J., & Campbell, K. (1990). Errors and violations on the roads: A real distinction? *Ergonomics*, 33, 1315-1332.
- Reason, J. T. (1987). Generic error modelling systems (GEMS): A cognitive framework for locating common human errors. In J. Rasmussen, K. Duncan, & J. Leplat (Eds.), *New technology and human error* (pp 63-83). London, UK: John Wiley & Sons.
- Reichart, G. (2001). *Menschliche Zuverlässigkeit beim Führen von Kraftfahrzeugen*. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH. VDI-Reihe 22, Nr. 7.
- Robert Bosch GmbH (Hrsg.). (2003). *Kraftfahrtechnisches Taschenbuch*. 25. Aufl. Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag.
- Roth, M. (2003). Die deutsche Version des AISS: Psychometrische Kennwerte und Befunde zur Reliabilität und Validität. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 24, 65-76.
- Schweigert, M. (2003). *Fahrerblickverhalten und Nebenaufgaben*. Unveröffentlichte Dissertation an der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München.
- Stradling S., & Meadows M. (2000). *Highway code and aggressive violations in UK drivers*. Global web conference on aggressive driving issues at [http:// www.aggressive.drivers.com](http://www.aggressive.drivers.com).
- Swain, A. D., & Guttman, H. E. (1983). *Handbook of human factors reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications*. Washington, DC, U.S.A.: U.S. Nuclear Regulatory Commission NUREG/CR-1278.
- Top 25 (2003). *Baden-Württemberg, Amtliche topographische Karten. Das Computerkartenwerk für jedermann*. Stuttgart: Landesvermessungsamt Baden-Württemberg.
- Verwey, W. B. (2000). On-line driver workload estimation. Effects of road situation and age on secondary task measures. *Ergonomics*, 43, 187-209.

- Verwey, W. B. (2001). Evaluating safety effects of in-vehicle information systems. In P. A. Hancock & P. A. Desmond (Eds.) *Stress, workload, and fatigue* (pp. 409-425). Mahwah, NJ, U.S.A.: Lawrence Erlbaum.
- Verwey, W. B., & Veltman, H. A. (1996). Detecting short periods of elevated workload: A comparison of nine workload assessment techniques. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 2, 270-285.
- Zijlstra, F., & van Dorn, L. (1985). *The construction of a scale to measure subjective effort*. University of Groningen, the Netherlands: Unpublished report.
- Zuckermann, M., Eysenck, S., & Eysenck, H. J. (1978). Sensation seeking in England and America: Cross-cultural, age, and sex comparisons. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 46, 139-149.
- Zwahlen, H. T., Adams, C. C., & DeBald, D. P. (1988). *Safety aspects of CRT touch panel controls in automobiles*. Paper presented at 2nd International Conference Vision in Vehicles. University of Nottingham, Gale, A. G., pp 335-344. ISSN 0-444-70423-X.

15 Tabellenanhang

Tabelle 38. Variablenliste *VPxx_A/B-05.sav* des Simulatorversuchs nach Zusammenführung aller Rohdateien und Berechnung aller Hilfsgrößen, Zeitpunkte- x Variablen-Matrix

Nr.	Variable	Typ	Var. Name in Quelle	Einheit	Bedeutung
1	frlabs	num			Abschnittsnummer für Fahrer, berechnet innerhalb der Simulator-datei aufgrund der Streckenabschnitte
2	frlurt	num	Urteile: 1 = "sehr sicher" ... 6 = "sehr unsicher" (Schulnoten)		Sicherheitsurteil des Fahrlehrers für den Abschnitt frlabs, Zuordnung zum Abschnitt aufgrund der Variablen frl4
3	v1	num	Time	s	Zeit im Versuch s.ms, ursprüngliche experimentelle Echtzeit Simulator
4	v2	num	CAB_IN.CabIn.Blinker	-	Blinker
5	v3	num	CONT_INP.User.Button1		VI-Kippschalter, "1" = "aktiv"
6	v4	num	MASTER.LeadVehicle.Acc	[m]	Beschleunigung Führungsfz.
7	v5	num	MASTER.LeadVehicle.Ang H	[m]	
8	v6	num	MASTER.LeadVehicle.Ang P	[m]	
9	v7	num	MASTER.LeadVehicle.Ang R	[m]	
10	v8	num	MASTER.LeadVehicle.FreeDist	[m]	Distanz zum vorausfahrenden Fz. m
11	v9	num	MASTER.LeadVehicle.Pos X	[m]	
12	v10	num	MASTER.LeadVehicle.Pos Y	[m]	
13	v11	num	MASTER.LeadVehicle.Pos Z	[m]	
14	v12	num	MASTER.LeadVehicle.S	[m]	Straßenposition des Führungsfz.
15	v13	num	MASTER.LeadVehicle.T	[m]	Spur Führungsfahrzeug
16	v14	num	MASTER.LeadVehicle.Vel	[m]	Geschw. Führungsfahrzeug
17	v15	num	MASTER.Model 0.Ang h	[rad]	Winkel Fz. – x-Achse
18	v16	num	MASTER.Model 0.Ang p	[rad]	
19	v17	num	MASTER.Model 0.Ang r	[rad]	
20	v18	num	MASTER.Model 0.DriveAng h	[rad]	Winkel Straße – x-Achse
21	v19	num	MASTER.Model 0.DriveAng p	[rad]	
22	v20	num	MASTER.Model 0.DriveAng r	[rad]	
23	v21	num	MASTER.Model 0.DrivePos s	[m]	Gefahrener Weg (verwenden!)
24	v22	num	MASTER.Model 0.DrivePos t	[m]	Position in Spur
25	v23	num	MASTER.Model 0.DrivePos x	[m]	leer
26	v24	num	MASTER.Model 0.DrivePos y	[m]	leer
27	v25	num	MASTER.Model 0.DrivePos z	[m]	leer
28	v26	num	MASTER.Model 0.Pos x	[m]	x-Koordinate Fz in Landkarte
29	v27	num	MASTER.Model 0.Pos y	[m]	y-Koordinate Fz in Landkarte
30	v28	num	MASTER.Model 0.Pos z	[m]	z-Koordinate Fz in Landkarte
31	v29	num	MASTER.Statistics.RunTime	[s]	gefahrte Zeit
32	v30	num	MASTER.SurTraffObj 0.Dist	[m]	Eukl. Abstand nächst. Fz. - Ego m
33	v31	num	MASTER.SurTraffObj 0.DistTrack	[m]	
34	v32	num	MASTER.SurTraffObj 0.lgType	[-]	
35	v33	num	MASTER.SurTraffObj 0.ModelNr	[-]	
36	v34	num	MASTER.SurTraffObj 0.Velocity	[m/s]	
37	v35	num	MASTER.SurTraffObj 1.Dist	[m]	Eukl. Abst. 2-nächst. Fz. – Ego m
38	v36	num	MASTER.SurTraffObj 1.DistTrack	[m]	
39	v37	num	MASTER.SurTraffObj 1.lgType	[-]	
40	v38	num	MASTER.SurTraffObj 1.ModelNr	[-]	
41	v39	num	MASTER.SurTraffObj 1.Velocity	[m/s]	
42	v40	num	MASTER.SurTraffObj 2.Dist	[m]	Eukl. Abst. 3-nächst. Fz. – Ego m
43	v41	num	MASTER.SurTraffObj 2.DistTrack	[m]	
44	v42	num	MASTER.SurTraffObj 2.lgType	[-]	
45	v43	num	MASTER.SurTraffObj 2.ModelNr	[-]	
46	v44	num	MASTER.SurTraffObj 2.Velocity	[m/s]	
47	v45	num	MASTER.SurTraffObj 3.Dist	[m]	Eukl. Abst. 4-nächst. Fz. – Ego m
48	v46	num	MASTER.SurTraffObj 3.DistTrack	[m]	
49	v47	num	MASTER.SurTraffObj 3.lgType	[-]	
50	v48	num	MASTER.SurTraffObj 3.ModelNr	[-]	

Nr.	Variable	Typ	Var. Name in Quelle	Einheit	Bedeutung
51	v49	num	MASTER.SurTraffObj 3.Velocity	[m/s]	
52	v50	num	MASTER.SurTraffObj 4.Dist	[m]	Eukl. Abst. 5-nächst. Fz. – Ego m
53	v51	num	MASTER.SurTraffObj 4.DistTrack	[m]	
54	v52	num	MASTER.SurTraffObj 4.lgType	[-]	
55	v53	num	MASTER.SurTraffObj 4.ModelNr	[-]	
56	v54	num	MASTER.SurTraffObj 4.Velocity	[m/s]	
57	v55	num	MASTER.TimeStamp.Hours	[h]	UTC als MESZ h des Tages
58	v56	num	MASTER.TimeStamp.MilliSeconds	[ms]	UTC ms
59	v57	num	MASTER.TimeStamp.Minutes	[m]	UTC min
60	v58	num	MASTER.TimeStamp.Seconds	[s]	UTC s
61	v59	num	VDYN_OUT.CGInO.AngleH	rad	
62	v60	num	VDYN_OUT.CGInO.AngleP	rad	
63	v61	num	VDYN_OUT.CGInO.AngleR	rad	
64	v62	num	VDYN_OUT.CGInO.PosX	m	
65	v63	num	VDYN_OUT.CGInO.PosY	m	
66	v64	num	VDYN_OUT.CGInO.PosZ	m	
67	v65	num	VDYN_OUT.CGVehAxisSys.AccX	m/s ²	Beschleunigung Ego in Fahrtricht.
68	v66	num	VDYN_OUT.CGVehAxisSys.AccY	m/s ²	Querbeschleunigung Ego m/s ²
69	v67	num	VDYN_OUT.CGVehAxisSys.AccZ	m/s ²	
70	v68	num	VDYN_OUT.CGVehAxisSys.VelX	m/s	Geschwindigkeit Ego m/s
71	v69	num	VDYN_OUT.CGVehAxisSys.VelY	m/s	Quergeschwindigkeit Ego m/s
72	v70	num	VDYN_OUT.CGVehAxisSys.VelZ	m/s	
73	v71	num	VDYN_OUT.CoPo.Angle h [4]	rad	Winkel Fahrbahnverlauf – Welt X
74	v72	num	VDYN_OUT.CoPo.Angle p [4]	rad	Gefällewinkel Fahrbahn
75	v73	num	VDYN_OUT.CoPo.Angle r [4]	rad	Querneigung Fahrbahn
76	v74	num	VDYN_OUT.CoPo.Deri dh/ds [4]	rad/m	
77	v75	num	VDYN_OUT.CoPo.Deri dp/ds [4]	rad/m	
78	v76	num	VDYN_OUT.CoPo.Deri dr/ds [4]	rad/m	
79	v77	num	VDYN_OUT.CoPo.Deri dz/ds [4]	m/m	
80	v78	num	VDYN_OUT.CoPo.Deri dz/dt [4]	m/m	
81	v79	num	VDYN_OUT.CoPo.InertPos x [4]	m	
82	v80	num	VDYN_OUT.CoPo.InertPos y [4]	m	
83	v81	num	VDYN_OUT.CoPo.InertPos z [4]	m	
84	v82	num	VDYN_OUT.CoPo.LaneSect [4]	-	
85	v83	num	VDYN_OUT.CoPo.LatDist t [4]	m	Abstand Fz.-Straßenmitte m
86	v84	num	VDYN_OUT.CoPo.Length s [4]	m	Abstand Fz. – Anfang der Fahrt m
87	v85	num	VDYN_OUT.Cockpit.Speedometer	m/s	Geschw. Tachoanz. = v68, m/s
88	v86	num	VDYN_OUT.Cockpit.WarnSymb	-	
89	v87	num	VDYN_OUT.EyeInertial.PosX	m	
90	v88	num	VDYN_OUT.EyeInertial.PosY	m	
91	v89	num	VDYN_OUT.EyeInertial.PosZ	m	
92	v90	num	VEH_IN.In.Blinker	-	Blinker "1" = "gesetzt"
93	v91	num	VEH_IN.In.NAccPedPos	-	Stellung Gaspedal
94	v92	num	VEH_IN.In.NBrakePedPos	-	Stellung Bremspedal
95	v93	num	VEH_IN.In.SteerWheelAng	rad	Lenkwinkel
96	abschnr	num	abschnr		Abschnittsnummer
97	abschkat	num	abschkat		Kategorie Abschnitt, 1 = bei Fahrt A Instruktion, bei Fahrt B keine Instruktion; 2 = bei Fahrt B Instruktion, bei Fahrt A keine Instruktion
98	usbukorr	num	usbukorr		VI-Kippschalter, von Hand korr.
99	datok	num	datok		Daten auswertbar (0), nicht ok (1)
100	tim2	num	tim2	s.ms	v55 ... v58 in s.ms
101	tim3	num	tim3		wie tim2, aber 1. Fall 0.00
102	timdif	num	timdif		tim3 – v1
103	filter_\$	num	filter_\$		
104	tim2k	num	tim2k	s.ms	tim2 driftkorrigiert d. Regression
105	v1ez	num	v1ez		Echtzeit aus v1, Matchingvariable, Zentrale Zeitvariable für alle Auswertungen, v1ez = 0 für Durchgang 1. Schild durch Video
106	v1f	num	FRAME_NUM		Bildnummer
107	v2f	num	EXPERIMENT_TIME		Zeitcode innerhalb Experiment

Nr.	Variable	Typ	Var. Name in Quelle	Einheit	Bedeutung
108	v3f	num	GMT_S		Zeitstempel
109	v4f	num	GMT_MS		Zeitstempel
110	v5f	num	DELAY		Anzeigeverzögerung
111	v6f	num	HEAD_OBJ_INDEX		Kopfrichtung numerisch -1 = nothing, notrack 1 = Leinwand 2 = Tacho 3 = Headunit
112	v7f	string	HEAD_OBJ_NAME		Kopfrichtung string
113	v8f	num	GAZE_OBJ_INDEX		Augenrichtung numerisch
114	v9f	string	GAZE_OBJ_NAME		Augenrichtung string
115	v10f	num	ATTEN_OBJ_INDEX		Aufmerksamkeitsrichtung num.
116	v11f	string	ATTEN_OBJ_NAME		Aufmerksamkeitsrichtung string
117	v12f	num		s	UTC-Zeit aus v3f in SPSS-Zeit umgerechnet
118	v13f	num		s.ms	aus v12f Jahr, Monat und Tag herausgerechnet und ms als Dezimalen hinzugefügt
119	v14f	num		s.ms	v13f regressionskorrigiert
120	v15f	num		s.ms	v14f mit Simulatorzeit synchronisiert, Nullpunkt auf Durchgang des 1. Schildes gelegt
121	v16f	num		ms	v15f mit 1000 multipliziert und bei ms mit RND ganzzahlig gemacht
122	v17f	num		ms	Maßzahlklassenzusammenfassung von v16f in ganzzahligen 20-er Schritten
123	v17f_1	num			Hilfsvariable zur Elimination doppelt vorhandener Maßzahlklassen
124	vz_ms	num		ms	Videozeit des zugehörigen Datenpunktes in ms
125	vz_s	num		s	Videozeit des zugehörigen Datenpunktes in s (ganzzahlig, keine Dezimalen)
126	framen0	num			Einzelbildnummer im Video, relativ auf letzten Sekundensprung
127	usbuko_1	num			usbukorr zusätzlich um Triggerfehler korrigiert
128	frl4	num			= v4 aus Fahrlehrerdatei, Abschnittsnummer in Fahrlehrerdatei
129	frl9	num			= v9 aus Fahrlehrerdatei, Rating zum Fahrfehler
130	frl10	num			= v10 aus Fahrlehrerdatei, numerischer Code (1 ... 19) für Fahrfehler
131	f1	num	f1 ... f19 enthalten Fahrlehrerrating als Wert 1 = keine Gefährdung erkennbar 2 = geringe Gefährdung 3 = erhebliche Gefährdung 4 = extreme Gefährdung, Fahrlehrereingriff notwendig		Geschwindigkeit zu hoch für Begrenzung
132	f2	num			Geschwindigkeit zu hoch für Straßenverlauf
133	f3	num			Geschwindigkeit zu hoch für Sichtbedingungen
134	f4	num			Geschwindigkeit zu hoch für Fahrbahnzustand
135	f5	num			Geschwindigkeit zu niedrig für Verkehrssituation
136	f6	num			Längsabstand zu gering für Geschwindigkeit
137	f7	num			Längsabstand zu gering für Geschwindigkeitsdifferenz
138	f8	num			Zu späte Bremsreaktion

Nr.	Variable	Typ	Var. Name in Quelle	Einheit	Bedeutung
139	f9	num			Zu geringer Seitenabstand
140	f10	num			Unsicheres Spurhalten
141	f11	num			Zu geringe Zeitlücke beim Spurwechsel
142	f12	num			Lenk-/Stabilisierungsfehler beim Spurwechsel
143	f13	num			Überholen trotz Verbots
144	f14	num			Überholen mit Gefährdung
145	f15	num			Fehler beim Kreuzen/Abbiegen
146	f16	num			Blinken unterlassen
147	f17	num			Falsches Blinken
148	f18	num			Blickabwendung von der Straße
149	f19	num			Linksfahren bei freier rechter Spur
150	tim2frl	num		s.ms	Pendant zu tim2 in Simulatordatei, Zeitpunkt am Tag in s.ms
151	ti2kfrl	num		s.ms	Pendant zu tim2k in Simulatordatei, tim2frl regressionskorrigiert
152	nfahrf_1	num			Nummer des Fahrfehlers innerhalb der Fahrt
153	vsollkmh			km/h	Auf Streckenabschnitt vorgeschriebene Höchstgeschwindigkeit
154	vkmh		v68 * 3,6	km/h	Geschwindigkeit
155	vueproz		(vkmh-vsollkmh)*100/vsollkmh		Prozentuale Geschwindigkeitsüberschreitung
156	fst_v				Fehlerstufe von vueproz
157	fst_v_1		Differenzenserie zu fst_v		
158	nf_v				Wechsel in Fehlerstufe von vueproz wenn positiv
159	th		v8/v68 unter Nebenbedingungen	s	Time Headway
160	fst_th				Fehlerstufe von th
161	nf_th				Wechsel in Fehlerstufe von th wenn positiv
162	fst_th_1		Differenzenserie zu fst_th		
163	ttc		v8/(v68-v14) unter Nebenbedingungen	s	Time to Collision
164	fst_ttc				Fehlerstufe von ttc
165	nf_ttc				Wechsel in Fehlerstufe von th wenn positiv
166	fst_ttc_1		Differenzenserie zu fst_ttc		
167	spr		1 = rechts, 2 = links		Befahrene Spur
168	spw		-1 = von links nach rechts 1 = von rechts nach links		Spurwechsel
169	sinpsi		psi = Winkel zwischen Fahrzeuglängsachse und Fahrbahnachse, positiv von oben gegen Uhrzeiger		Sinus Psi
170	tlcli				tlc für linke Spurbegrenzung
171	tlcre				tlc für rechte Spurbegrenzung
172	fst_li				Fehlerstufe für tlcli
173	nf_li				Wechsel in Fehlerstufe von tlcli wenn positiv
174	fst_li_1		Differenzenserie zu fst_li		
175	fst_re				Fehlerstufe für tlcre
176	nf_re				Wechsel in Fehlerstufe von tlcre wenn positiv
177	fst_re_1		Differenzenserie zu fst_re		
178	spvli		0 = Fahren in der Spur > 0 = Überfahren der Spurbegrenzung (m)	m	Spur verlassen links
179	spvre		wie unter spvli	m	Spur verlassen rechts
180	spli		Hilfsgröße bei Berechnung spvli		
181	spre		Hilfsgröße bei Berechnung spvre		
182	fst_spli				Fehlerstufe von spli
183	nf_spli				Wechsel in Fehlerstufe von spli

Nr.	Variable	Typ	Var. Name in Quelle	Einheit	Bedeutung
					wenn positiv
184	f_spli_1		Differenzenserie zu fst_spli		
185	fst_spre				Fehlerstufe von spre
186	nf_spre				Wechsel in Fehlerstufe von spre wenn positiv
187	f_spre_1		Differenzenserie zu fst_spre		
188	mav22		Tiefpassfilter für Spurlage mit Fensterweite 10 s	m	Gleitender Mittelwert von v22 mit Spanne 500
189	sqabv22		$(v22 - mav22)^2$	m ²	Quadierte Abweichung v22 – mav22
190	sv22		Sollwert für v22	m	Sollwert Spurmitte
191	mabv22				Betrag der Abweichung v22 – sv22
192	v30_1		Differenzenserie zu v30		
193	vzdif		1 wenn v30_1 positiv, sonst 0		
194	vzdif_1		Differenzenserie zu vzdif 1 bei Vorzeichenwechsel von vzdif auf positiv		
195	minv30		v30 an Stelle mit vzdif_1 = 1	m	Minimaler Abstand bei Vorbeifahrt an einem anderen Fahrzeug
196	fst_sabs				Fehlerstufe Seitenabstand
197	eor		0 = keine valide Messung 1 = Straße 2 = nicht auf der Straße		Ort der Fixation
198	qgr				Grenzwert der Querbesehleunigung als Funktion der Geschwindigkeit
199	queproz		$queproz = (ABS(v66) - qgr) * 100 / qgr$		Prozentuale Überschreitung des Grenzwertes der Querbesehleunigung
200	fst_q				Fehlerstufe queproz
201	fst_q_1		Differenzenserie zu queproz		
202	nf_q				Wechsel Fehlerstufe von queproz wenn positiv
203	tkoll			ms	Zeitpunkte v1ez für Ereignisse mit Index ikoll
204	ikoll		1 = ausscherendes Fz erkennbar 2 = Betätigung Bremspedal		Index
205	tamp			ms	Zeitpunkte v1ez für Ereignisse mit Index iamp
206	iamp		1 = erste Ampel wird gelb 2 = Betätigung Bremspedal 3 = Passieren erste Ampel 11 = zweite Ampel wird gelb 12 = Betätigung Bremspedal 13 = Passieren zweite Ampel		Index
207	frlabs_1		Differenzenserie zu frlabs		
208	frlur		Werte siehe frlurt		Fahrlehrerurteil zum Abschnitt, nur eine Zahl pro Abschnitt, daher Mittelwert möglich
209	abschmo		1 = mit Instruktion 2 = ohne Instruktion		Versuchsbedingung, berechnet aus Vp-Nummer und abschkat. Ungerade Vp-Nummer: abschmo = abschkat; Gerade Vp-Nummer: abschmo = mod(abschkat,2)+1
210	len		$v93 * 1000$	rad * 1000	Lenkwinkel
211	len_1		MA(len 25)		Lenkwinkel geglättet 25
212	len_5		MA(len 9)		Lenkwinkel geglättet 9
213	len_3		DIFF(len_1 1) Differenzenserie		Lenkwinkel gegl. 25
214	len_4		LAG(len_3 1) Hilfsvariable		Lenkwinkel gegl. 25
215	vw		1 = Maximum oder Minimum von len_1, sonst 0		Indikator für Maximum/Minimum von len_1
216	minmax				Zahlenwert von len_1 bei Maximum/Minimum mit Vorzeichen, sonst missing

Nr.	Variable	Typ	Var. Name in Quelle	Einheit	Bedeutung
217	cycle_		Hilfsvariable		
218	obs_		In SPSS erzeugt mit DATE CYCLE OBS 1 9 BY 1 .		Hilfsvariable zur Auswahl jedes 9. Falles
219	date_		Hilfsvariable		

Anmerkungen

Simulatorvariablen: $v1$ bis $v93$ (Nr. 3 bis Nr. 95)

FaceLab-Variablen: $v1f$ bis $v11f$ (Nr. 106 bis Nr. 116)

Fahrlehrervariablen: $frlurt$, $frl4$, $frl9$, $frl10$ (Nr. 2, Nr. 128, Nr. 129, Nr. 130)

Alle anderen Variablen wurden im Laufe der Auswertung berechnet.

Zu den Simulatorvariablen: Fahrzeugkoordinaten: x nach vorn positiv, y von oben gesehen nach links positiv, z nach oben positiv. X , Y und Z können auch Weltkoordinaten nach der gleichen Regel sein.

Der Gierwinkel ergibt sich zu $v15 - v18$. Positive Werte bei $v15$ und $v18$ sind Abweichungen von oben gesehen nach links. Folglich ist eine positive Differenz eine Abweichung nach links.

Die Abkürzung "CoPo ... [4]" in den Variablen $v71$ bis $v84$ bedeutet "Contact Point No. 4", also Aufsetzpunkt 4. "Aufsetzpunkte" sind die Mittelpunkte der Flächen, mit denen die Räder auf der Straße aufliegen. Die Nummern bedeuten: "1" = vorne links, "2" = vorne rechts, "3" = hinten links, "4" hinten rechts.

Am Ende der Variablenamen in der Quelle bedeutet der Buchstabe "h" bzw. "H" "heading", d. h. den Winkel der Fahrzeuginnenachse gegen eine Referenzachse. Positive Werte bedeuten "gegen Uhrzeiger" von oben gesehen.

Am Ende der Variablenamen in der Quelle bedeutet der Buchstabe "p" bzw. "P" "pitch", also "Nicken", eine Rotation um die Querachse des Fahrzeugs. Positive Werte bedeuten "hinten nach oben, vorne nach unten".

Am Ende der Variablenamen in der Quelle bedeutet der Buchstabe "r" bzw. "R" "rolling", also Rollen, eine Bewegung um die Längsachse des Fahrzeugs. Positive Werte bedeuten "links nach oben, rechts nach unten".

Tabelle 39. Variablenliste VPxx_A/B/C/D-all05.sav des Straßenversuchs nach Zusammenführung aller Rohdateien und Berechnung aller Hilfsgrößen, Zeitpunkte- x Variablen-Matrix

Nr.	Variable	Typ	Bedeutung	Weitere Angaben
1	tbas20	num	Zeitbasis aus zts20.sav, beginnt bei 20,00 und steigt in ganzzahligen 20-ms-Schritten	
2	v1ez	num	= tbas20 + Minimalzeit (s ganzzahlig*1000) für alle Dateien der Fahrt, Tageszeit in ms, Matchingvariable	Nullpunkt anders als im Simulatorversuch; siehe v2ez
3	v1gps	num	GMT (s) 13 Stellen vor dem Komma, aus Aufzeichnungsrechner	
4	v3gps	num	Tageszeit in s seit vorletzter Mitternacht, 6 Stellen vor dem Komma, nach dem Komma nicht vorhandene Sekundenbruchteile, aus GPS-Empfänger	
5	v4gps	num	Koordinate Nord, vier Stellen vor dem Komma, vier Stellen nach dem Komma	
6	v5gps	string	Kennung "N"	
7	v6gps	num	Koordinate Ost, drei Stellen vor dem Komma, vier Stellen nach dem Komma	
8	v7gps	string	Kennung "E"	
9	tim	num	Tageszeit in s.ms, aus v1gps berechnet	
10	v4rad	num	Koordinate Nord im Bogenmaß	
11	v6rad0	num	Koordinate Ost im Bogenmaß; 9 Grad = 0; Abstand vom Zentralmeridian der UTM-Zone (32)	
12	UTMN	num	UTM-Koordinate Nord (= m ab Äquator)	
13	UTME	num	UTM-Koordinate Ost (= m ab Zentralmeridian der UTM-Zone)	
14	UTMN_1	num	UTM-Koordinate Nord zwischen GPS-Messungen linear interpoliert	
15	UTME_1	num	UTM-Koordinate Ost zwischen GPS-Messungen linear interpoliert	
16	UTMN_1_1	num	Differenz Wert n – Wert (n-1) = Länge des 20-ms-Abschnittes Nord	
17	UTME_1_1	num	Differenz Wert n – Wert (n-1) = Länge des 20-ms-Abschnittes Ost	
18	dlaenge	num	Hypotenuse zu UTMN_1_1 und UTME_1_1 = Länge des 20-ms-Abschnittes (m)	
19	dlaenge_1	num	Summe über dlaenge ab Fahrtbeginn, Weglänge in m	
20	vgpskmh	num	Geschwindigkeit (km/h) aufgrund von dlaenge. Wegen Schwankungen der GPS-Koordinaten praktisch unbrauchbar	
21	v1sts	num	Messzeitpunkt	Experimentzeit in Santos
22	v2sts	num	wSize	
23	v3sts	num	wVersionId	
24	v4sts	num	wMarkerId	Marker Nr., Eingabe VI
25	v5sts	num	szMarkerText	Wohl immer identisch mit v4sts
26	v6sts	num	byHour	Zeitstempel
27	v7sts	num	byMinute	Zeitstempel
28	v8sts	num	bySecond	Zeitstempel
29	v9sts	num	wMilliseconds	Zeitstempel
30	v10sts	num	dwRecvPacketCounter	
31	v11sts	num	dwSentPacketCounter	
32	v12ts	num	FzgLenkwinkel	Grad; + links, - rechts; siehe Anmerkung unten!
33	v13sts	num	FzgLenkwinkelgeschwindigkeit	Grad/s, + nach links

Nr.	Variable	Typ	Bedeutung	Weitere Angaben
34	v14sts	num	FzgBremseBetaetigt	[0, 1]
35	v15sts	num	FzgGaspedalstellung	[0...100] Pedalstellung %
36	v16sts	num	FzgFahrgeschwindigkeit	km/h
37	v17sts	num	FzgAngezeigteGeschwindigkeit	nach v15, zeitliche Dämpfung
38	v18sts	num	FzgIntegrierteAngezeigteGeschwindigkeit	nicht bekannt
39	v19sts	num	FzgLängsbeschleunigung	m/s ² ; - Verzögerung, + Beschl.
40	v20sts	num	FzgQuerschleunigung	m/s ² ; - Rechtskurve, + Linksk.
41	v21sts	num	FzgGiergeschwindigkeit	rad/s, - gegen Uhrz. v. o. ges.
42	v22sts	num	FzgBlinkerSignal	1 links, 2 rechts, 3 Warnblinker
43	v23sts	num	AccGeschwindigkeitRegelobjekt	km/h vorausf. Fz., Glättung
44	v24sts	num	AccAbstand	s; Head time*
45	timsts	num	Tageszeit in s.ms aus v6sts, v7sts, v8sts und v9sts	
46	v1fcl	num	FRAME_NUM	Bildnummer
47	v2fcl	num	EXPERIMENT_TIME	Zeitcode innerhalb Experiment
48	v3fcl	num	GMT_S	Zeitstempel
49	v4fcl	num	GMT_MS	Zeitstempel
50	v5fcl	num	DELAY	Anzeigeverzögerung
51	v6fcl	num	HEAD_OBJ_INDEX	Kopfrichtung numerisch -1 = „nothing“ 1 = „Fahrbahn“ 2 = „Tacho“ 3 = „Headunit“
52	v7fcl	string	HEAD_OBJ_NAME	Kopfrichtung string
53	v8fcl	num	GAZE_OBJ_INDEX	Augenrichtung numerisch Zahlencodes wie oben
54	v9fcl	string	GAZE_OBJ_NAME	Augenrichtung string
55	v10fcl	num	ATTEN_OBJ_INDEX	Aufmerksamkeitsrichtung numerisch Zahlencodes wie oben
56	v11fcl	string	ATTEN_OBJ_NAME	Aufmerksamkeitsrichtung string
57	timfcl	num	Tageszeit in s.ms aus v3fcl und f4fcl	
58	v4frl	num	Abschnittnummer, Eingabe Fahrlehrer	
59	v7frl	num	Fahrfehler „zeitnah“, Fahrlehrereingabe {0 = nicht zeitnah, 1 = zeitnah}	
60	timfrl	num	Zeitstempel Fahrlehrerdatei s.ms	
61	v8frl	num	Sicherheitsrating Abschnitt	Urteile: 1 = „sehr sicher“ 6 = „sehr unsicher“ (Schulnoten)
62	v9frl	num	Rating Fahrfehler	siehe unter f1
63	v10frl	num	Nummer des Fahrfehlers (numerisch 1 ... 19)	
64	f1	num	Geschwindigkeit zu hoch für Begrenzung	f1 bis f19 enthalten das Fahrlehrerrating als Wert 1 = keine Gefährdung erkennbar 2 = geringe Gefährdung 3 = erhebliche Gefährdung 4 = extreme Gefährdung, Fahrlehrereingriff notwendig

Nr.	Variable	Typ	Bedeutung	Weitere Angaben
65	f2	num	Geschwindigkeit zu hoch für Straßenverlauf	
66	f3	num	Geschwindigkeit zu hoch für Sichtbedingungen	
67	f4	num	Geschwindigkeit zu hoch für Fahrbahnzustand	
68	f5	num	Geschwindigkeit zu niedrig für Verkehrssituation	
69	f6	num	Längsabstand zu gering für Geschwindigkeit	
70	f7	num	Längsabstand zu gering für Geschwindigkeitsdifferenz	
71	f8	num	Zu späte Bremsreaktion	
72	f9	num	Zu geringer Seitenabstand	
73	f10	num	Unsicheres Spurhalten	
74	f11	num	Zu geringe Zeitlücke beim Spurwechsel	
75	f12	num	Lenk-/Stabilisierungsfehler beim Spurwechsel	
76	f13	num	Überholen trotz Verbots	
77	f14	num	Überholen mit Gefährdung	
78	f15	num	Fehler beim Kreuzen/Abbiegen	
79	f16	num	Blinken unterlassen	
80	f17	num	Falsches Blinken	
81	f18	num	Blickabwendung von der Straße	
82	f19	num	Linksfahren bei freier rechter Spur	
83	usbu	num	0 = Vp arbeitet nicht am FIS 1 = Vp arbeitet am FIS	Berechnet aus v4sts, gleiche Bedeutung wie im Simulatorversuch
84	abschkat	num	Kategorie Abschnitt, 1 = bei Fahrt A Instruktion, bei Fahrt B keine Instruktion; 2 = bei Fahrt A keine Instruktion, bei Fahrt B Instruktion.	Gleiche Bedeutung wie im Simulatorversuch, aus VI-Eingabe v4sts gewonnen
85	datok	num	Daten auswertbar (0), nicht auswertbar (1). Wird aufgrund der Handprotokolle von Hand gesetzt	Gleiche Bedeutung wie im Simulatorversuch
86	v2ez	num	Echtzeit aus v1ez berechnet, am Beginn von Abschnitt 1 auf 0,00 gesetzt	Entspricht v1ez im Simulatorversuch
87	abschmo	num	Abschnittskennung 1 = mit Instruktion, 2 = ohne Instruktion	aus VI-Eingabe v4sts gewonnen
88	abschnr	num	Abschnittsnummer laut Marker-Dateien	aus VI-Eingabe v4sts gewonnen
89	absgps	num	Abschnittsnummer laut GPS, korrespondiert abschnr	aus GPS-Daten gewonnen
90	vsollkmh	num	Geschwindigkeitsbegrenzung auf dem laufenden Straßenabschnitt laut GPS	auf GPS-Daten aufgebaut
91	akagps	num	Abschnittskategorie laut GPS, korrespondiert abschkat	auf GPS Daten aufgebaut
92	amogps	num	Abschnittskennung 1 = mit Instruktion, 2 = ohne Instruktion laut GPS, korrespondiert abschmo	auf GPS-Daten aufgebaut
93	distntz	num	Minimaldistanz Soll-Ist bei Abschnittsgrenze laut GPS (m)	
94	v101sts	num	wMarkerId	v101sts bis v110sts aus Nachtrag Santos Auswertinstruktion Nr. 4 Kontrolle: v5sts = v101sts
95	v102sts	num	byHour	
96	v103sts	num	byMinute	
97	v104sts	num	bySecond	
98	v105sts	num	wMilliseconds	
99	v106sts	num	FzgFahrgeschwindigkeit	
100	v107sts	num	AccKomponenteOnline	
101	v108sts	num	AccEffektiveWunschgeschwindigkeit	

Nr.	Variable	Typ	Bedeutung	Weitere Angaben
102	v109sts	num	AccFahrerwunschgeschwindigkeit	
103	v110sts	num	AccSollabstand	
104	v111sts	num	AccGeschwindigkeitRegelobjekt	
105	v112sts	num	AccRegelobjektErkannt	
106	v113sts	num	AccAbstand	
107	v114sts	num	AccUebernahmeaufforderung	
108	v115sts	num	AccMaximaleVerzoegerung	
109	v116sts	num	AccMaximaleBeschleunigung	
110	v117sts	num	AccGeraetIstAktivRegelnd	
111	timstsna	num	wie timsts, nur aus Nachtrag	Kontrolle: timstsna = timsts
112	vueproz	num	Prozentuale Geschwindigkeitsüberschreitung	
113	fst_v	num	Fehlerstufe Geschwindigkeit	
114	fst_v_1	num	Differenz lag 1 fst_v	
115	nf_v	num	Wert von fst_v an den Stellen mit fst_v_1 >= 1	
116	fahrt	num	Indikator für Fahrt 0 = v16sts < 10.0 km/h, 1 = v16sts >= 10.0 km/h	Wert 0 für datok = 0, sonst missing
117	autob	num	1 auf Abschnitten (absgps) Autobahn, sonst missing	ohne Rücksicht auf datok
118	fautob	num	1 wenn fahrt = 1 und autob = 1, sonst missing	datok über fahrt berücksichtigt
119	fauterk	num	1 wenn fautob = 1 und v112sts = 1, sonst missing	Erkennen des Vorausfahrzeugs
120	fautreg	num	1 wenn fautob = 1 und v117sts = 1, sonst missing	Abstandsregelung aktiv
121	th	num	Time Headway s, nur Autobahnabschnitte, also wenn fauterk = 1, sonst missing	
122	fst_th	num	Fehlerstufe von th	default = 0 wenn datok = 0, sonst missing
123	nf_th	num	Wechsel in Fehlerstufe von th wenn positiv	
124	fst_th_1	num	Differenzenserie zu fst_th	
125	ttc	num	Zeit bis Kollision, nur Autobahnabschnitte, also wenn fauterk = 1, sonst missing	
126	fst_ttc	num	Fehlerstufe von ttc	default = 0 wenn datok = 0, sonst missing
127	nf_ttc			
128	fst_ttc_1	num	Differenzenserie zu fst_ttc	
129	eor	num	Ort der Fixation	0 = keine valide Messung 1 = Straße 2 = nicht auf der Straße
130	qgr	num	Grenzwert der Querbeschleunigung als Funktion der Geschwindigkeit v16sts	
131	queproz	num	Prozentuale Überschreitung des Grenzwertes der Querbeschleunigung	
132	fst_q	num	Fehlerstufe zu queproz	
133	fst_q_1	num	Differenzenserie zu fst_q	
134	nf_q	num	Wechsel in Fehlerstufe von queproz wenn fst_q_1 >= 1	
135	abschmofrl	num	wie abschmo, für Fahrlehrer-Abschnittsurteile	1 Abschnitt mit Instruktion, 2 Abschnitt ohne Instruktion. Aus Fahrlehrer-Eingabe berechnet
136	autobfrl	num	wie autob, für Fahrlehrer-Abschnittsurteile	1 auf Abschnitten Autobahn, sonst missing
137	len	num	Lenkwinkel (Grad) = v12ts + = nach links, - = nach rechts	
138	len_1	num	MA(len 25) Lenkwinkel, geglättet 25	

Nr.	Variable	Typ	Bedeutung	Weitere Angaben
139	len_5	num	MA(len 9) Lenkwinkel, geglättet 9	
140	len_3	num	DIFF(len_1 1) Differenzenserien aus Lenkwinkel geglättet 25	
141	len_4	num	LAG(len_3 1) Hilfsvariable	
142	vw	num	1 = Minimum oder Maximum von len_1, sonst 0	Indikator für Maximum/Minimum von len_1
143	minmax	num	Zahlenwert von len_1 bei Maximum/Minimum mit Vorzeichen, sonst missing	
144	cycle_	num	Hilfsvariable	
145	obs_	num	Erzeugt mit DATE CYCLE OBS 1 9 BY 1	Hilfsvariable zur Auswahl jedes 9. Falles
146	date_	string	Hilfsvariable, bei Erzeugung von obs_ entstanden	
147	fnr	num	bei Dateien A und B: 1 = erste Fahrt, 2 = zweite Fahrt. Bei Datei C 3, bei Datei D 4	
148	fst_lb	num	Fehlerstufe Bremsverzögerung	
149	fst_lb_1	num	Differenzenserie zu fst_lb	
150	nf_lb	num	Wechsel in Fehlerstufe Bremsverzögerung	
151	fst_lv	num	Fehlerstufe Fahrbeschleunigung	
152	fst_lv_1	num	Differenzenserien zu fst_lv	
153	nf_lv	num	Wechsel in Fehlerstufe Fahrbeschleunigung	
154	gas	num	= v15sts, Stellung Gaspedal	
155	gas_1	num	MA(gas 25) gas tiefpassgefiltert	
156	gas_3	num	DIFF(gas_1 1) Differenzenserie	
157	gas_4	num	LAG(gas_3 1) Verschiebung	
158	vwgas	num	1 = Minimum oder Maximum von gas_1, sonst 0	
159	mimagas	num	Zahlenwert von gas_1 bei vwgas = 1, mit Vorzeichen, sonst missing	
160	gas_5	num	MA(gas 500) Starker Tiefpass, Fenster = 500	
161	gas_6	num	Quadrierte Abweichung gas – gas_6	

16 Materialanhang

16.1 Protokollbogen VL/FL Simulatorversuch

Abschnitte Fahrweg und Instruktionen allgemein

Abschnitt Nr.	Anfang (Instruktion)	Bezeichnung	Text Instruktion	Bemerkung VL/FL
6.1 A6	700	Landstraße Anfang	Speicher: DaimlerChrysler	
1.1 A1	2000	Landstraße lang	Ort: Wiesbaden	
1.2 B1	5000		Ort: Dresden	
2.1 A2	8000	Landstraße kurz	Ort: Hamburg	
2.2 B2	10500		Ort: Köln	
3.1 A3	13720	Stadt I	Ziel: Karlsruhe Waldstraße	
4.1 A4	17500	Autobahn lang/schnell	Ziel: Erfurt Schillerstraße	
4.2 B4	22750		Ziel: Offenburg Rilkestraße	
5.1 A5	28000	Autobahn kurz/langsam	Ziel: Bayreuth Nordring	
5.2 B5	29750		Ziel: Bochum Universitätsstraße	
Stauauflösung	31500	----	----	
3.2 B3	35570	Stadt II	Ziel: Konstanz Falkengasse	
7.1 A7	39900	Hundekurve	Speicher: Wannsee	
7.2 B7	39900		----	
6.2 B6	42170	Landstraße Ende	Speicher: Planetarium	

Anmerkung

Fahrweg A: wie Tabelle, *.1-Abschnitte haben Instruktion und 200 m vor Ende Abbruchinstruktion, *.2-Abschnitte haben **keine** Instruktion

Fahrweg B: Abweichend von Tabelle, *.1-Abschnitte haben **keine** Instruktion, *.2-Abschnitte haben Instruktion und 200 m vor Ende Abbruchinstruktion

Vpn 1, 3, 5 ... fahren A – B, Vpn 2, 4, 6, ... fahren B – A

Abbruchinstruktion: „Bitte drücken Sie jetzt die Navigationstaste“, Datei Navi_beenden.wav

Abschnitte Fahrweg und Instruktionen **A**

Abschnitt Nummer	Anfang (Instruktion)	Bezeichnung	Text Instruktion	Bemerkung VL/FL
6.1 A6	700	Landstraße Anfang	Speicher: DaimlerChrysler	
1.1 A1	2000	Landstraße lang	Ort: Wiesbaden	
1.2 B1	5000		----	
2.1 A2	8000	Landstraße kurz	Ort: Hamburg	
2.2 B2	10500		----	
3.1 A3	13720	Stadt I	Ziel: Karlsruhe Waldstraße	
4.1 A4	17500	Autobahn lang/schnell	Ziel: Erfurt Schillerstraße	
4.2 B4	22750		----	
5.1 A5	28000	Autobahn kurz/langsam	Ziel: Bayreuth Nordring	
5.2 B5	29750		----	
Stauauflösung	31500	----	----	
3.2 B3	35570	Stadt II	----	
7.1 A7	39900	Hundekurve	Speicher: Wannsee	
7.2 B7	39900		----	
6.2 B6	42170	Landstraße Ende	----	

Anmerkung

Fahrweg A: wie Tabelle, *.1-Abschnitte haben Instruktion und 200 m vor Ende Abbruchinstruktion, *.2-Abschnitte haben **keine** Instruktion

Fahrweg B: Abweichend von Tabelle, *.1-Abschnitte haben **keine** Instruktion, *.2-Abschnitte haben Instruktion und 200 m vor Ende Abbruchinstruktion

Vpn 1, 3, 5 ... fahren A – B, Vpn 2, 4, 6, ... fahren B – A

Abbruchinstruktion: „Bitte drücken Sie jetzt die Navigationstaste“, Datei Navi_beenden.wav

Abschnitte Fahrweg und Instruktionen **B**

Abschnitt Nummer	Anfang (Instruktion)	Bezeichnung	Text Instruktion	Bemerkung VL/FL
6.1 A6	700	Landstraße Anfang	----	
1.1 A1	2000	Landstraße lang	----	
1.2 B1	5000		Ort: Dresden	
2.1 A2	8000	Landstraße kurz	----	
2.2 B2	10500		Ort: Köln	
3.1 A3	13720	Stadt I	----	
4.1 A4	17500	Autobahn lang/schnell	----	
4.2 B4	22750		Ziel: Offenburg Rilkestraße	
5.1 A5	28000	Autobahn kurz/langsam	----	
5.2 B5	29750		Ziel: Bochum Universitäts- straße	
Stauauflö- sung	31500	----	----	
3.2 B3	35570	Stadt II	Ziele: Konstanz Falkengas- se	
7.1 A7	39900	Hundekurve	----	
7.2 B7	39900		----	
6.2 B6	42170	Landstraße Ende	Speicher: Planetarium	

Anmerkung

Fahrweg A: wie Tabelle, *.1-Abschnitte haben Instruktion und 200 m vor Ende Abbruchinstruktion, *.2-Abschnitte haben **keine** Instruktion

Fahrweg B: Abweichend von Tabelle, *.1-Abschnitte haben **keine** Instruktion, *.2-Abschnitte haben Instruktion und 200 m vor Ende Abbruchinstruktion

Vpn 1, 3, 5 ... fahren A – B, Vpn 2, 4, 6, ... fahren B – A

Abbruchinstruktion: „Bitte drücken Sie jetzt die Navigationstaste“, Datei Navi_beenden.wav

16.2 Protokollbogen VL Straßenversuch - Fahrt A

Nr.	Abschnitt	M	FIS-Fahrt A	Bemerkungen
	Fahrtbeginn	1	Zeit	
A2-1a	B28 Ortsschild Tü	2		
	Beginn Ziel Aachen 20 sec!!!	3		
	Ende Ziel Aachen	4		
A2-1a	B28 Ausfahrt Jettenburg	5	L R	
A2-1b	B28 Ausfahrt Betzingen	6		
A2-2a	B28 Einfahrt Betzingen	7		
	Beginn Zielspeicher MTO	8		
	Ende Zielspeicher MTO	9		
A2-2a	B28 Einfahrt Jettenburg	10	< 120 <	
A2-2b	B28 Ortsschild Tü	11		
A2-3a	B27 Auffahrt B27	12		
	Beginn Ziel Leipzig	13		
	Ende Ziel Leipzig	14		
A2-3a	B27 Einfahrt K'furt/ Ende 120 km/h	15	LS J N	
A2-3b	B27Ausfahrt Walddorf	16		
C4-1a	Ortseingang Walddorfhäslach	17		
	Beginn Sender SWR2	18		
	Ende Sender SWR2	19		
C4-1a	Einmündung Hauptstraße	20		
C4-1b	Ortsende Walddorfhäslach	21		
L1-1a	B464 Einmündung	22		
	Beginn weniger Höhen 20 sec!!!	23		
	Ende weniger Höhen	24		
L1-1a	B464 Schild Notruf	25		
L1-1b	B464 Kreuzung K6912	26		
	Beginn Sender SWR1 10 sec!!!	27		
	Ende Sender SWR1	28	< 100 <	
L1-2a	K6912 Soph.pfl./ 70 km/h	29		
L1-2b	Pfrond. Str. Ortsschild Pfrondorf	30		
	Beginn Ziel Stade	31		
	Ende Ziel Stade	32		
C4-2a	Pfrondorf Einfahrt Parkplatz	33	Fußg J N	
C4-2b	Pfrondorf Ausfahrt Parkplatz	34		
C4-2b	Ortsende Pfrondorf	35	Fußg J N	
L1-3a	L1208 Ortsendeschild Tübingen	36		
	Beginn Ziel Tuttlingen 30 sec!!!	37		
	Ende Ziel Tuttlingen	38		
L1-3a	L1208 Parkplatz gegenüber	39	L R	
L1-3b	L1208 Einmündung Parkpl. 3-spur.	40		
	Beginn Zielsp. Restaur. 5 sec!!!	41		
	Ende Zielspeicher Restaurant	42		
L1-3c	L1208 Abzweig B464	43	Fzg n l J N	
L1-4a	B464 Kreuzung K6912	44		
	Beginn Sender Hit-Radio	45		
	Ende Sender Hit-Radio	46		
L1-4b	B464 Schild Notruf	47		
L1-4c	B464 50 km/h	48	Fzg n l J N	
A2-4a	B27 Auffahrt	49		
	Beginn Ziel Pfullingen 5 sec!!!	50		
	Ende Ziel Pfullingen	51		
A2-4a	B27Ausfahrt K'furt	52	L R	
A2-4b	B27 80 km/h FIS-ENDE!	53	Fzg Ausf J N	
			Zeit	

Nr.	Abschnitt	M	ACC-Fahrt A	Bemerkungen
	Beginn	54	Zeit	
A2-5a	B27Auffahrt	55		
	Beginn Ziel Köln	56		
	Ende Ziel Köln	57		
A2-5a	B27 Einfahrt K'furt/ Ende 120 km/h	58		
A2-5b	B27 Ausfahrt Walddorf	59		
	Beginn Ziel München	60		
	Ende Ziel München	61		
A2-5c	B27variables Schild	62		
A2-5d	B27Ausfahrt F.-Bonlanden	63		
	Beginn Zielspeicher Gehrke	64		
	Ende Zielspeicher Gehrke	65		
A2-5e	B27 Ausfahrt L.-E. Süd	66		
A2-6a	B27 ab Auffahrt	67		
A2-6b	B27 Einfahrt F.-Bonlanden	68		
	Beginn Ziel Berlin	69		
	Ende Ziel Berlin	70		
A2-6b	B27 Ende 120 km/h	71		
A2-6c	B27 Einfahrt Walddorf	72		
	Beginn Zielsp. Darmstadt	73		
	Ende Zielsp. Darmstadt	74		
A2-6d	B27 Ausfahrt K'furt	75		
A2-6e	B27 80 km/h FAS-ENDE!	76	Zeit	

Protokollbogen VL Straßenversuch - Fahrt B

Nr.	Abschnitt	M	FIS-Fahrt B	Bemerkungen
	Fahrtbeginn	1	Zeit	
A2-1a	B28 Ortsschild Tü	2		
A2-1b	B28 Ausfahrt Jettenburg	3	L R	
	Beginn Zielspeicher Wilhelma	4		
	Ende Zielspeicher Wilhelma	5		
A2-1b	B28 Ausfahrt Betzingen	6		
A2-2a	B28 Einfahrt Betzingen	7		
A2-2b	B28 Einfahrt Jettenburg	8	< 120 <	
	Beginn Ziel Dortmund	9		
	Ende Ziel Dortmund	10		
A2-2b	B28 Ortsschild Tü	11		
A2-3a	B27 Auffahrt B27	12		
A2-3b	B27 Einfahrt K'furt Ende 120 km/h	13	LS J N	
	Beginn Ziel Essen	14		
	Ende Ziel Essen	15		
A2-3b	B27 Ausfahrt Walddorf	16		
C4-1a	Ortseingang Walddorfhäslach	17		
C4-1a	Einm. Hauptstr.	18		
	Beginn Sender SWR4	19		
	Ende Sender SWR4	20		
C4-1b	Ortsende Walddorfhäslach	21		
L1-1a	B464 Einmündung	22		
L1-1b	B464 Schild Notruf	23		
	Beginn Sender SWR3	24		
	Ende Sender SWR3	25		
L1-1b	B464 Kreuzung K6912	26		
L1-2a	K6912 Soph.pfl./ 70 km/h	27	< 100 <	
	Beginn Ziel Ulm 10 sec!!!	28		
	Ende Ziel Ulm	29		
L1-2b	Pfrond. Str. Ortsschild Pfrondorf	30		
C4-2a	Pfrondorf Einfahrt Parkplatz	31	Fußg J N	
C4-2b	Ausfahrt Parkplatz	32		
	Beginn Ziel Olpe	33		
	Ende Ziel Olpe	34		
C4-2b	Ortsende Pfrondorf	35	Fußg J N	
L1-3a	L1208 Ortsendeschild Tübingen	36		
L1-3b	L1208 Parkplatz gegenüber	37	L R	
	Beginn Zielspeicher Post	38		
	Ende Zielspeicher Post	39		
L1-3b	L1208 Einmündung Parkpl. 3-spur.	40		
L1-3c	L1208 Abzweig B464	41	Fzg n l J N	
	Beginn Sender Radioton	42		
	Ende Sender Radioton	43		
L1-4a	B464 Kreuzung K6912	44		
L1-4b	B464 Schild Notruf	45		
	Beginn mehr Höhen 20 sec!!!	46		
	Ende mehr Höhen	47		
L1-4c	B464 50 km/h	48	Fzg n l J N	
A2-4a	B27 Auffahrt	49		
A2-4b	B27 Ausfahrt K'furt	50	L R	
	Beginn Ziel Rostock 20 sec!!!	51		
	Ende Ziel Rostock	52		
A2-4b	B27 80 km/h FIS-ENDE!	53	Fzg Ausf J N	
			Zeit	

Nr.	Abschnitt	M	ACC-Fahrt B	Bemerkungen
	Fahrtbeginn	54	Zeit	
A2-5a	B27 Auffahrt	55		
A2-5b	B27 Einfahrt K'furt/ Ende 120 km/h	56		
	Beginn Zielsp. Darmstadt	57		
	Ende Zielsp. Darmstadt	58		
A2-5b	B27 Ausfahrt Walddorf	59		
A2-5c	B27 variables Schild	60		
	Beginn Ziel Berlin	61		
	Ende Ziel Berlin	62		
A2-5d	B27 Ausfahrt F.-Bonlanden	63		
A2-5e	B27 Ausfahrt L.-E. Süd	64		
A2-6a	B27Auffahrt	65		
	Beginn Zielspeicher Gehrke	66		
	Ende Zielspeicher Gehrke	67		
A2-6a	B27 Einfahrt F.-Bonlanden	68		
A2-6b	B27 Ende 120 km/h	69		
	Beginn Ziel München	70		
	Ende Ziel München	71		
A2-6c	B27 Einfahrt Walddorf	72		
A2-6d	B27 Ausfahrt K'furt	73		
	Beginn Ziel Köln	74		
	Ende Ziel Köln	75		
A2-6e	B27 80 km/h FAS-ENDE!	76	Zeit	

16.3 Begleitfragebogen Fahrerleben

Vp-Name:

Vp-Nr.:

Datum:

Versuch Anfang:

Versuch Ende:

VI:

Versuchsbedingung:

Im folgenden finden Sie einige Aussagen zum Autofahren, sowie generell zum Thema „Technik“. Bitte geben Sie jeweils an, inwieweit sie auf Sie persönlich zutreffen oder nicht.

	Trifft voll zu	Trifft eher zu	Teils /teils	Trifft eher nicht zu	Trifft gar nicht zu
Autofahren ist für mich auch eine sportliche Herausforderung.	<input type="checkbox"/>				
Ich fahre ungern Strecken, die ich nicht kenne.	<input type="checkbox"/>				
Ich erfasse komplexe Verkehrssituationen sehr schnell.	<input type="checkbox"/>				
Ich fahre ungern nachts Auto.	<input type="checkbox"/>				
Ich fahre ungern lange Strecken mit dem Auto.	<input type="checkbox"/>				
Ich fühle mich im Verkehr häufig überfordert.	<input type="checkbox"/>				
Ich beherrsche mein Fahrzeug auch in Grenzsituationen.	<input type="checkbox"/>				
Schnell mit dem Auto zu fahren, macht mir Spaß.	<input type="checkbox"/>				
Ich fahre sehr gern auf kurvenreichen Strecken.	<input type="checkbox"/>				
Beim Autofahren lasse ich mich kaum aus der Ruhe bringen.	<input type="checkbox"/>				
Wenn irgend möglich vermeide ich es, in einer fremden Stadt Auto zu fahren.	<input type="checkbox"/>				
Es macht mir Spaß, im Verkehrsgetümmel mitzumischen.	<input type="checkbox"/>				
Mir wird sehr unwohl, wenn ich ein Einsatzfahrzeug mit Blaulicht sehe.	<input type="checkbox"/>				
Beim Autofahren kann ich so richtig entspannen.	<input type="checkbox"/>				
Es passiert mir oft beim Autofahren, daß ich wegen anderer Verkehrsteilnehmer erschrecke.	<input type="checkbox"/>				
Raser auf der Autobahn ängstigen mich.	<input type="checkbox"/>				
Nach einer längeren Autofahrt fühle ich mich sehr angespannt.	<input type="checkbox"/>				
Wenn ich die Spur wechseln muß, werde ich nervös.	<input type="checkbox"/>				
Beim Autofahren denke ich oft daran, was alles passieren kann.	<input type="checkbox"/>				

	Trifft voll zu	Trifft eher zu	Teils /teils	Trifft eher nicht zu	Trifft gar nicht zu
Wenn ich ein riskantes Überholmanöver sehe, ängstigt mich dies, auch wenn ich selbst nicht gefährdet bin.	<input type="checkbox"/>				
Autofahren kann ich so richtig genießen.	<input type="checkbox"/>				
Ich bemühe mich, immer ein Auto zu fahren, das in Bezug auf Sicherheit auf dem neuesten Stand ist.	<input type="checkbox"/>				
Wenn ein neues System für Autos auf den Markt kommt, z. B. ein Wegleitsystem, möchte ich es sofort haben.	<input type="checkbox"/>				
Ich erkunde eine fremde Stadt gern ohne Hilfe, auch wenn ich nicht am geplanten Punkt herauskomme.	<input type="checkbox"/>				
In einem Fahrzeug-Cockpit mit vielen Schaltern und Anzeigen fühle ich mich gar nicht wohl.	<input type="checkbox"/>				
Wenn Freunde in meinem Auto mitfahren, zeige ich schon gerne, wie PS-stark mein Auto ist.	<input type="checkbox"/>				
Ich vermeide Fahrmanöver, die gefährlich sind.	<input type="checkbox"/>				
Bedienungsanleitungen lese ich eigentlich nie. Lieber probiere ich aus, wie etwas funktioniert.	<input type="checkbox"/>				
Bei einem privaten Autorennen auf dem Nürburgring mitzufahren, würde mir großen Spaß machen.	<input type="checkbox"/>				
Beim Autoradio genügt es mir, die Hauptfunktionen zu kennen. Weitere Funktionen interessieren mich nicht.	<input type="checkbox"/>				
Wenn ich am Computer arbeite, habe ich immer mehrere Anwendungen geöffnet und springe zwischen ihnen hin und her.	<input type="checkbox"/>				
Beim Autofahren schalte ich mein Handy aus, um nicht gestört zu werden.	<input type="checkbox"/>				
Wenn ich ein neues Gerät habe, probiere ich sofort aus, was man alles damit machen kann.	<input type="checkbox"/>				
Ein Fahrzeug mit Automatik-Schaltung fahre ich lieber als eines mit Schaltgetriebe.	<input type="checkbox"/>				
Gespräche mit dem Beifahrer stören mich, wenn ich mich in einer Fahrsituation konzentrieren muß.	<input type="checkbox"/>				
Die Vorschrift, im Fahrzeug nur Handys mit Freisprech-Einrichtung zu verwenden, halte ich für übertrieben.	<input type="checkbox"/>				
Ich arbeite lieber mit Geräten, die mir vertraut sind.	<input type="checkbox"/>				
Wenn ich auf Reisen gehe, plane ich sehr sorgfältig die Reiseroute.	<input type="checkbox"/>				
Für mich ist das Auto nicht nur ein Transportmittel. Autofahren soll Spaß machen!	<input type="checkbox"/>				
Bei technischen Produkten möchte ich immer das Neueste haben.	<input type="checkbox"/>				

	Trifft voll zu	Trifft eher zu	Teils /teils	Trifft eher nicht zu	Trifft gar nicht zu
Ich halte mich an die Geschwindigkeitsbegrenzungen, auch wenn sie mir oft nicht sinnvoll erscheinen.	<input type="checkbox"/>				
Beim Kauf von neuen Geräten bevorzuge ich diejenigen, die viele Funktionen beinhalten.	<input type="checkbox"/>				
Ich bin ein sehr guter Autofahrer.	<input type="checkbox"/>				
Mir unterlaufen während des Fahrens fast nie Fehler.	<input type="checkbox"/>				
Es kommt vor, daß sich meine Stimmung nachteilig auf mein Fahrverhalten auswirkt.	<input type="checkbox"/>				
Ich bin ein außerordentlich sicherer Autofahrer.	<input type="checkbox"/>				
Ich halte mich eigentlich immer an die Verkehrsregeln.	<input type="checkbox"/>				

16.4 DBQ

Die folgende Liste enthält kleinere Fehler und Regelübertretungen, die Verkehrsteilnehmern von Zeit zu Zeit passieren. Bitte geben Sie im folgenden an, wie häufig Ihnen diese im letzten Jahr passiert sind. Da eine genaue Angabe oft schwierig ist, kreuzen Sie bitte das Kästchen an, das Ihrer Meinung nach am ehesten zutrifft.

	Nie (0)	Fast nie (1)	Selten (2)	Gelegentlich (3)	Häufig (4)	Sehr häufig (5)
Sie versuchen, im falschen Gang an der Ampel anzufahren.	<input type="checkbox"/>					
Sie ärgern sich über ein auf der Autobahn links fahrendes langsames Fahrzeug und überholen es rechts.	<input type="checkbox"/>					
Sie fahren dicht auf ein vorausfahrendes Fahrzeug auf, um dem Fahrer zu signalisieren, daß er schneller fahren oder Ihre Spur verlassen soll.	<input type="checkbox"/>					
Sie versuchen, jemanden zu überholen und bemerken nicht, daß er bereits nach links blinkt und abbiegen möchte.	<input type="checkbox"/>					
Sie haben vergessen, wo Sie das Auto im Parkhaus oder auf dem Parkplatz abgestellt haben.	<input type="checkbox"/>					
Sie betätigen aus Versehen einen Schalter (z. B. für den Blinker), obwohl Sie eigentlich einen anderen betätigen wollten (z. B. für die Scheibenwischer).	<input type="checkbox"/>					
Sie stellen fest, daß Sie eigentlich nicht genau wissen, wie die Strecke aussah, die sie gerade gefahren sind.	<input type="checkbox"/>					
Sie fahren noch über eine Ampel, obwohl Sie wissen, daß Sie eigentlich anhalten müßten.	<input type="checkbox"/>					
Sie bemerken beim Abbiegen Fußgänger nicht, die die Straße überqueren.	<input type="checkbox"/>					
Sie ärgern sich über einen anderen Fahrer und jagen ihm hinterher, um ihm zu zeigen, was Sie von ihm halten.	<input type="checkbox"/>					
Sie erwischen am Kreisverkehr die falsche Ausfahrt.	<input type="checkbox"/>					
Sie halten sich nachts oder bei wenig Verkehr nicht an Geschwindigkeitsbegrenzungen.	<input type="checkbox"/>					
Sie biegen nach rechts ab und stoßen beinahe mit einem geradeaus fahrenden Radfahrer zusammen.	<input type="checkbox"/>					
Sie achten beim Einbiegen in eine Vorfahrtsstraße so sehr auf den dortigen Verkehr, daß Sie beinahe auf den Vordermann auf Ihrer Spur auffahren.	<input type="checkbox"/>					
Sie fahren, obwohl Sie wissen, daß Sie möglicherweise mehr Alkohol getrunken haben als erlaubt.	<input type="checkbox"/>					
Sie haben eine Abneigung gegen eine bestimmte Art von Autofahrern und Sie zeigen ihnen das, wo immer Sie können.	<input type="checkbox"/>					
Sie unterschätzen beim Überholen die Geschwindigkeit eines entgegenkommenden Fahrzeugs.	<input type="checkbox"/>					

	Nie (0)	Fast nie (1)	Selten (2)	Gelegentlich (3)	Häufig (4)	Sehr häufig (5)
Sie fahren beim Zurückstoßen gegen etwas, was Sie vorher nicht gesehen haben.	<input type="checkbox"/>					
Sie wollen nach A fahren und merken plötzlich, daß Sie sich auf dem Weg nach B befinden, z. B. weil Sie sonst immer nach B fahren.	<input type="checkbox"/>					
Sie ordnen sich vor einer Kreuzung in die falsche Spur ein.	<input type="checkbox"/>					
Sie übersehen ein „Vorfahrt gewähren“-Schild und stoßen beinahe mit einem bevorrechtigten Verkehrsteilnehmer zusammen.	<input type="checkbox"/>					
Sie versäumen beim Spurwechsel, vor dem Aussteigen, etc. in den Rückspiegel zu schauen.	<input type="checkbox"/>					
Sie lassen sich auf Wettrennen mit anderen Autofahrern ein.	<input type="checkbox"/>					
Sie bremsen auf rutschiger Fahrbahn zu scharf oder lenken nicht richtig, so daß sie ins Schleudern kom-	<input type="checkbox"/>					

16.5 Begleitfragebogen Selbstbeurteilung Eingabehandlung

Vp-Nr. _____

1. Angaben zur Person

Alter: _____ Jahre
Beruf: _____
Zur Zeit vorwiegend genutztes KFZ (sei es privat oder beruflich): Fabrikat: _____ Typ: _____ Baujahr: _____
Pro Jahr gefahrene Kilometer: <input type="checkbox"/> < 10.000 <input type="checkbox"/> 10.000 – 20.000 <input type="checkbox"/> 20.000 – 30.000 <input type="checkbox"/> > 30.000
Wie viele Punkte haben Sie aktuell im Verkehrszentralregister (Flensburg)? _____ Punkte
Wie hoch ist Ihr Schadensfreiheitsrabatt bei Ihrer Autoversicherung (30 bis max. 260 %) bzw. welche Schadensfreiheitsklasse haben Sie? Beantworten Sie, was Ihnen leichter fällt. Schadensfreiheitsrabatt: _____ % Schadensfreiheitsklasse: _____
In welchem Alter haben Sie Ihren Führerschein der Klasse 3 bzw. B gemacht? _____
Haben Sie Erfahrung im Umgang mit Navigationssystemen im Kraftfahrzeug? <input type="checkbox"/> Ja, viel <input type="checkbox"/> Ja, etwas <input type="checkbox"/> Eher wenig <input type="checkbox"/> Nein, gar nicht
Falls ja, geben Sie Navigationsziele im Stand oder auch während der Fahrt ein? <input type="checkbox"/> Immer im Stand <input type="checkbox"/> Meistens im Stand <input type="checkbox"/> Beides gleich <input type="checkbox"/> Meistens während der Fahrt <input type="checkbox"/> Immer während der Fahrt
Sind Sie altersweitsichtig? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, ich verwende eine Lesebrille <input type="checkbox"/> Ja, aber ich kann auch ohne Lesebrille lesen
Händigkeit <input type="checkbox"/> Rechtshänder <input type="checkbox"/> Linkshänder <input type="checkbox"/> Beides praktisch gleich

2. Wenn Sie an die Phasen während der Testfahrt denken, in denen Sie Eingaben gemacht haben (z. B. Orte, Straßennamen): Wie haben Sie sie erlebt?

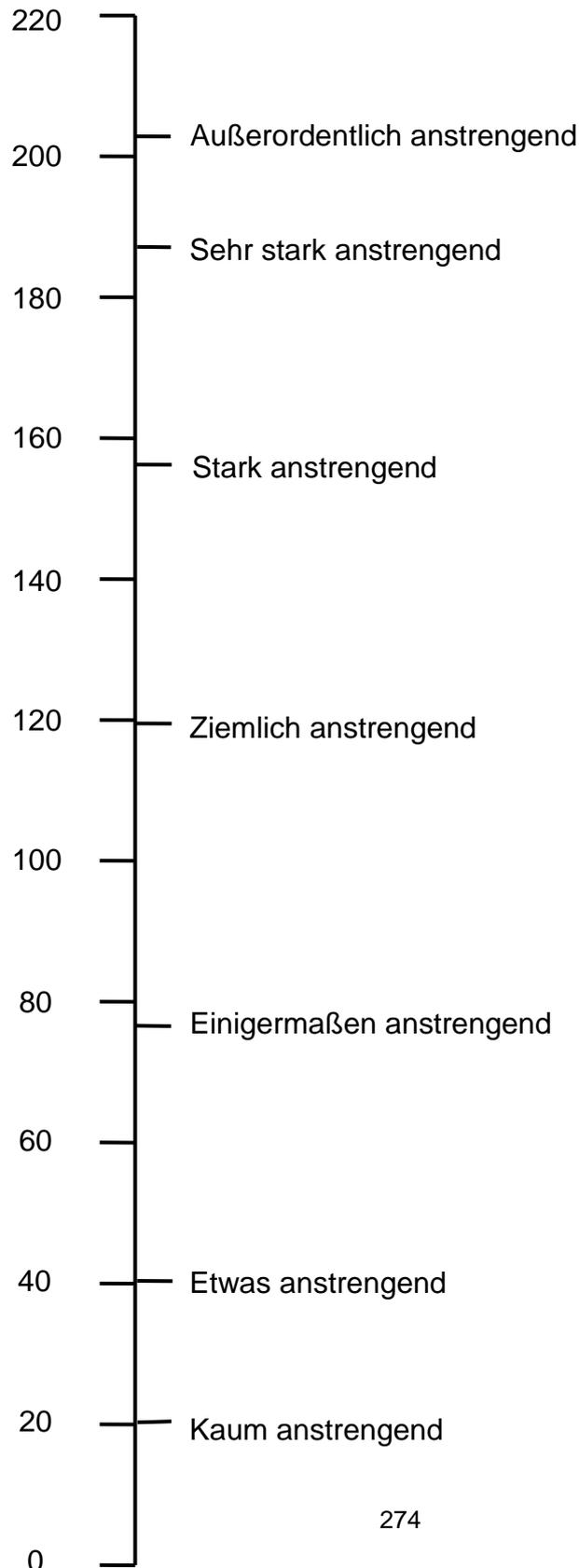
	Trifft voll zu	Trifft eher zu	Teils /teils	Trifft eher nicht zu	Trifft gar nicht zu
Ich wurde durch das Eingeben vom Autofahren abgelenkt.	<input type="checkbox"/>				
Ich fuhr während des Eingebens langsamer als sonst.	<input type="checkbox"/>				
Ich fuhr während des Eingebens schlechter als sonst.	<input type="checkbox"/>				
Ich habe in diesen Phasen mehr Fahrfehler gemacht als sonst.	<input type="checkbox"/>				
Ich habe nicht sofort eingegeben, wenn die Aufforderung kam, sondern gewartet, bis es die Verkehrssituation erlaubte.	<input type="checkbox"/>				
Das Eingeben hat das Autofahren anstrengender gemacht.	<input type="checkbox"/>				
Ich mußte beim Eingeben zu lange den Blick von der Straße wenden.	<input type="checkbox"/>				
Das Bedienen von Navigationssystemen während der Fahrt sollte verboten werden.	<input type="checkbox"/>				
Bei Autofahrern, die weniger routiniert sind als ich, bedeutet das Bedienen solcher Systeme während der Fahrt ein erhebliches Sicherheitsrisiko.	<input type="checkbox"/>				

3. Gibt es sonst noch etwas, das Ihnen während der Fahrt aufgefallen ist?

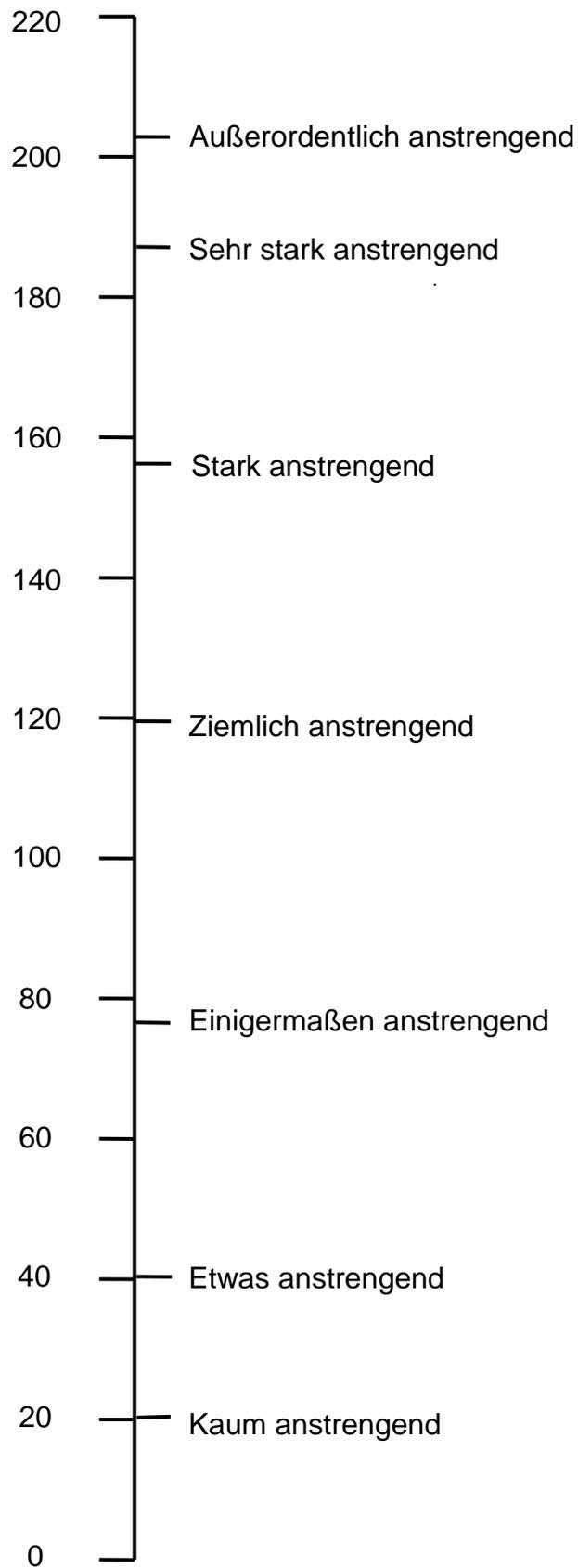
16.6 RSME

4. Die Testfahrt bestand aus Phasen, in denen Sie Eingaben zu machen hatten und Phasen, in denen dies nicht der Fall war. Wir möchten nun gerne von Ihnen wissen, wie anstrengend Sie diese Phasen empfunden haben. Bitte machen Sie an der Stelle der Skala einen Strich, die Ihrer Meinung nach Ihrer Anstrengung während der jeweiligen Phase entspricht. Sie können diesen Strich dabei an jeder beliebigen Stelle machen, die sprachlichen Angaben und die Zahlen dienen lediglich als Orientierungshilfe.

Die Phasen, in denen ich **Eingaben** zu machen hatte, empfand ich als ...



Die Phasen, in denen ich **keine Eingaben** zu machen hatte, empfand ich als ...



16.7 Situationsbewusstsein Simulatorversuch - Fahrt A

Welches der folgenden Verkehrszeichen haben Sie an der Fahrstrecke gesehen?
Bitte kreuzen Sie zehn Zeichen mit "Ja" an. Raten Sie, wenn Sie sich nicht sicher sind!

			
Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>
			
Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>
			
Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>
			
Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>
			
Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>

Bogen	Datum	Zeit	Vp	VI	1./2. Durchgang
A					

Situationsbewusstsein Simulatorversuch - Fahrt B

Welches der folgenden Verkehrszeichen haben Sie an der Fahrstrecke gesehen?
Bitte kreuzen Sie zehn Zeichen mit "Ja" an. Raten Sie, wenn Sie sich nicht sicher sind!

 Ja <input type="checkbox"/>	 Ja <input type="checkbox"/>	 Ja <input type="checkbox"/>	 Ja <input type="checkbox"/>
 Ja <input type="checkbox"/>	 Ja <input type="checkbox"/>	 Ja <input type="checkbox"/>	 Ja <input type="checkbox"/>
 Ja <input type="checkbox"/>	 Ja <input type="checkbox"/>	 Ja <input type="checkbox"/>	 Ja <input type="checkbox"/>
 Ja <input type="checkbox"/>	 Ja <input type="checkbox"/>	 Ja <input type="checkbox"/>	 Ja <input type="checkbox"/>
 Ja <input type="checkbox"/>	 Ja <input type="checkbox"/>	 Ja <input type="checkbox"/>	 Ja <input type="checkbox"/>

Bogen	Datum	Zeit	Vp	VI	1./2. Durchgang
B					

16.8 Situationsbewusstsein Straßenversuch

Fragen zur Versuchsfahrt

Im folgenden sehen Sie Ausschnitte der Strecke, die Sie soeben gefahren sind. Natürlich zeigen die Bilder nicht exakt die Fahrsituation, in der Sie sich jeweils befunden haben. So entsprechen z. B. die abgebildeten Verkehrsteilnehmer nicht denen, die Sie an dieser Stelle gesehen haben.

Neben jedem Bild steht eine Frage, die sich auf IHRE Situation an dieser Stelle bezieht. Zudem erhalten Sie einen Antwortbogen, auf dem Ihnen pro Frage zwei Antwortalternativen vorgegeben werden. Wir möchten Sie nun bitten, die Fragen auf dem Antwortbogen vollständig zu beantworten. Wenn Sie nicht sicher sind, raten Sie einfach, lassen Sie aber bitte keine Frage aus.

Frage 1: Sind Sie hier auf der linken oder auf der rechten Spur gefahren?



B28 Richtung Reutlingen, Beginn der langen Kurve vor der Ausfahrt Jettenburg

Frage 2: Gilt hier eine Geschwindigkeitsbegrenzung?



B28 Richtung Reutlingen, Beginn der Ausfahrt Reutlingen-West

Frage 3: Wie hoch war hier Ihre Geschwindigkeit?



B28 Richtung Tübingen, kurz vor Ausfahrt Reutlingen-West

Frage 4: Befinden sich an den Stellen, die im Bild geschwärzt sind, weitere Schilder?



B28 Richtung Tübingen, kurz nach Einfahrt Wankheim

Frage 5: Sind Sie an dieser Einfahrt auf die linke Spur gewechselt, um einem anderen Fahrzeug die Einfahrt zu ermöglichen?



B27 Richtung Stuttgart, Einfahrt Böblingen, Lustnau etc.

Frage 6: Wird vor diesem Abschnitt durch ein Schild vor Seitenwind gewarnt?



B27 Richtung Stuttgart, nach Ausfahrt Pliezhausen

Frage 7: Wie ist die Vorfahrt an dieser Kreuzung geregelt?



Ortsdurchfahrt Walddorfhäslach, erste Kreuzung

Frage 8: Wird vor diesem Abschnitt durch ein Schild vor kreuzenden Radfahrern gewarnt?



B464 zwischen Walddorfhäslach und Kreuzung alte Stuttgarter Straße

Frage 9: Wie schnell sind Sie hier gefahren?



Alte Stuttgarter Straße Richtung Tübingen, Einfahrt in die Senke

Frage 10: Wie ist die Vorfahrt an dieser Kreuzung geregelt?



Kreuzung Alte Stuttgarter Straße mit Pfrondorfer Straße, kurz vor Tübingen

Frage 11: Stand jemand (eine oder mehrere Personen) an der Fußgängerampel, als Sie vorbeifahren?



Ortsdurchfahrt Pfrondorf Richtung Ortsmitte, 2. Fußgängerampel

Frage 12: Stand jemand (eine oder mehrere Personen) an der Fußgängerampel, als Sie vorbeifahren?



Ortsdurchfahrt Pfrondorf Richtung Tübingen, 1. Fußgängerampel

Frage 13: Welche Geschwindigkeitsbegrenzung gilt hier?



L1208 Tübingen Richtung Bebenhausen

Frage 14: Sind Sie am Beginn des 3-spurigen Ausbaus zunächst auf die rechte Spur gefahren, oder haben Sie gleich die linke Spur benutzt?



L1208 Bebenhausen Richtung Dettenhausen, Beginn des 3-spurigen Ausbaus

Frage 15: Ist ein anderes Fahrzeug nach links (Richtung Böblingen) abgebogen, als Sie hier fahren?



L1208 Bebenhausen Richtung Dettenhausen, Abzweigung Richtung Böblingen

Frage 16: Ist ein anderes Fahrzeug nach links (Richtung Walddorfhäslach) abgebogen, als Sie hier fahren?



B464 Richtung Walddorfhäslach, Abzweigung Walddorfhäslach

Frage 17: Befanden Sie sich am Ende dieser Abzweigung auf der linken oder auf der rechten Spur?



B27 Richtung Tübingen, Abzweig Reutlingen

Frage 18: Ist ein anderes Fahrzeug ausgefahren, als Sie an dieser Ausfahrt vorbeifahren?



B27 Richtung Tübingen, Ausfahrt Unterer Wert

Vp-Nr.: _____

Antwortbogen für die Fragen zur Versuchsfahrt

Bitte kreuzen Sie jeweils eine der Antwortalternativen an.

Frage	Antwortalternativen	
Frage 1	<input type="checkbox"/> Linke Spur	<input type="checkbox"/> Rechte Spur
Frage 2	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein
Frage 3	<input type="checkbox"/> Unter 120 km/h	<input type="checkbox"/> Über 120 km/h
Frage 4	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein
Frage 5	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein
Frage 6	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein
Frage 7	<input type="checkbox"/> Vorfahrt geradeaus	<input type="checkbox"/> Vorfahrt abbiegend
Frage 8	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein
Frage 9	<input type="checkbox"/> Unter 100 km/h	<input type="checkbox"/> Über 100 km/h
Frage 10	<input type="checkbox"/> „STOP“-Schild	<input type="checkbox"/> „Vorfahrt-achten“-Schild
Frage 11	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein
Frage 12	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein
Frage 13	<input type="checkbox"/> 80 km/h	<input type="checkbox"/> 70 km/h
Frage 14	<input type="checkbox"/> Linke Spur	<input type="checkbox"/> Rechte Spur
Frage 15	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein
Frage 16	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein
Frage 17	<input type="checkbox"/> Linke Spur	<input type="checkbox"/> Rechte Spur
Frage 18	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein

Vp-Nr.: _____

Für die richtige Auswertung Ihrer Versuchsfahrt ist es für uns sehr wichtig zu wissen, wie gut Sie die Strecke bereits vor dem Versuch kannten. Im folgenden möchten wir Sie daher bitten, für einzelne Streckenabschnitte anzugeben, wie häufig Sie diese üblicherweise fahren.

Fahrstrecke	(Praktisch) täglich	Mehrmals pro Woche	Mehrmals pro Monat	Etwa 1 x pro Monat	Seltener als 1 x pro Monat	(Praktisch) nie
B27 Tübingen – Stuttgart bis Ausfahrt Walddorfhäslach	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
B28 Tübingen – Reutlingen bis Ausfahrt Ohmenhausen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
B464 Walddorfhäslach – Böblingen bis Kreuzung mit L1208	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Alte Stuttgarter Straße Tübingen - Lustnau bis Dettenhausen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
L1208 („Alte B27“) Tübingen – Bebenhausen – Dettenhausen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Ortsdurchfahrt Walddorfhäslach	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Ortsdurchfahrt Tübingen - Pfrondorf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				