

Auswirkungen des Fahrens mit Tempomat und ACC auf das Fahrerverhalten

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 74

The logo for the Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) is displayed in a bold, green, lowercase sans-serif font. The letters are thick and have a slight shadow effect, giving it a three-dimensional appearance. The logo is positioned in the bottom right corner of the page.

Auswirkungen des Fahrens mit Tempomat und ACC auf das Fahrerverhalten

von

Mark Vollrath
Susanne Briest
Katharina Oeltze

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
Institut für Verkehrssystemtechnik
Braunschweig

Technische Universität Carolo-Wilhelmina
Lehrstuhl für Kognitions- und Ingenieurpsychologie
Braunschweig

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 74

bast

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

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

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

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

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

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE 82.331/2007:
Auswirkungen des Fahrens mit Tempomat und ACC auf das Fahrverhalten

Projektbetreuung
Christhard Gelau

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

Redaktion
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

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

ISSN 0943-9307
ISBN 978-3-86509-993-8

Bergisch Gladbach, März 2010

Kurzfassung – Abstract

Auswirkungen des Fahrens mit Tempomat und ACC auf das Fahrverhalten

Ziel der Studie war es, die Auswirkungen des Fahrens mit Tempomat auf das Fahrverhalten zu untersuchen. Tempomaten haben in Deutschland eine relativ große Verbreitung, die insgesamt bei 10 bis 20 % der Fahrzeuge liegt, in der Oberklasse sogar bei 50 %. Studien, mit denen man die Auswirkungen des Tempomaten auf das Fahrverhalten bewerten kann, liegen bislang nicht vor. Relativ gut untersucht ist dagegen der Abstandsregelautomat ACC („adaptive cruise control“), der zusätzlich zur Geschwindigkeitsregelung auch einen sicheren Abstand zu voranfahrenden Fahrzeugen hält. Bei ACC ergeben sich neben positiven Veränderungen im Sinne einer besseren Einhaltung von Geschwindigkeitsbegrenzungen auch Hinweise, dass Fahrer langsamer auf Reize in der Umwelt reagieren, die eine Veränderung der Geschwindigkeit notwendig machen (z. B. Geschwindigkeitsbegrenzungen, einsetzender Regen oder Nebel usw.). Weiter zeigen diese Studien, dass sich Fahrer mit ACC eher mit Nebenaufgaben beschäftigen, sodass die Spurhaltung verschlechtert wird. Da der Tempomat bei Strecken mit geringem Verkehrsaufkommen ähnlich wie ACC die Geschwindigkeitsregelung übernimmt, liegt die Vermutung nahe, dass sich auch für den Tempomat ähnliche negative Verhaltenswirkungen ergeben könnten.

Um dies zu prüfen, wurde im Fahrsimulator des DLR mit Bewegungssimulation eine Studie durchgeführt, in der 11 Tempomat-Nutzer und 11 Novizen jeweils drei Fahrten durchführten, ohne System, mit Tempomat und mit ACC. Bei jeder Fahrt waren zwei Autobahnabschnitte und ein Stück Landstraße zu bewältigen, wobei die Geschwindigkeitsbegrenzungen wechselten, um so die Anpassungsreaktionen der Fahrer untersuchen zu können. Auf der Autobahn wurde ein Stau, auf Landstraße ein Stück mit Nebel eingeführt, um die Reaktionen auf weitere Umweltreize, die eine Anpassung der Geschwindigkeit erfordern, beobachten zu können. Schließlich wurden auf der Autobahn zwei Abschnitte mit Nebenaufgaben (eine visuelle Suchaufgabe) realisiert, um eine mögliche verstärkte Abwendung von der Fahraufgabe zu prüfen.

Der Altersdurchschnitt der Fahrer lag bei 38 Jahren. Bei jeder Fahrt wurden das Fahrverhalten und phy-

siologische Reaktionen (Herzrate) aufgezeichnet. Außerdem wurden Befragungen zum Befinden, der Beanspruchung beim Fahren und der Bewertung der Systeme durchgeführt. In den Bedingungen mit Tempomat oder ACC wurden die Probanden instruiert, diese Systeme auch möglichst zu nutzen. Dies führte zu Nutzungshäufigkeiten von ca. 90 % der Fahrtzeit.

Insgesamt sind die Ergebnisse für Tempomat und ACC sehr ähnlich. Geschwindigkeitsbegrenzungen werden besser eingehalten. Es werden geringere maximale Geschwindigkeiten erreicht. Auch die Standardabweichung der Geschwindigkeit ist verringert, was zu einem besseren Verbrauch und Verkehrsfluss führen könnte. Die Abstände zu voranfahrenden Fahrzeugen verändern sich durch den Tempomat nicht. Bei ACC ist der Abstand vergrößert, was allerdings durch die spezielle Auslegung begründet sein könnte, die keine Anpassung zuließ.

Wenn die Geschwindigkeit aufgrund von Geschwindigkeitsbegrenzungen oder Nebel reduziert werden musste, erfolgte dies mit Tempomat und ACC um ca. 5 Sekunden verzögert. Offensichtlich mussten sich die Fahrer hier erst bewusst machen, dass sie eingreifen müssen und dass die Systeme diese Anpassung nicht leisten.

Hinsichtlich eines möglichen Missbrauchs der Systeme ergaben sich in dieser Studie bei der Bearbeitung von Nebenaufgaben keine deutlichen Hinweise. Weder mit Tempomat noch mit ACC werden mehr Nebenaufgaben bearbeitet. Die negativen Effekte der Nebenaufgaben auf die Spurhaltung sind deutlich, aber in allen Bedingungen zu finden. Der einzige Hinweis auf eine Gefahr liegt darin, dass die Geschwindigkeit bei der Bearbeitung von Nebenaufgaben mit ACC und Tempomat nicht so stark verringert wird wie bei der Fahrt ohne Systeme. Ob dies das Unfallrisiko erhöht, ist mit der vorliegenden Studie nicht zu beantworten. Schließlich beurteilten die Fahrer beide Systeme positiv und waren der Meinung, dass die Fahrt dadurch sicherer und weniger anstrengend wird.

Insgesamt führt damit das Fahren mit Tempomat hinsichtlich der mittleren Geschwindigkeit zu Veränderungen des Fahrverhaltens, die eher positiv zu bewerten sind. Auf der anderen Seite zeigen sich

wie auch bei ACC Hinweise, dass eine Geschwindigkeitsanpassung mit System deutlich verzögert geschieht, was als vermindertes Situationsbewusstsein interpretiert werden kann. Wünschenswerte Erweiterungen der Funktionalität (z. B. Anpassung an Verkehrszeichen) könnten diesen Effekt noch verstärken. Angesichts dieser Bedenken und der technischen Weiterentwicklungen sind weitere Studien dringend notwendig.

Effects of cruise control and ACC on driving behaviour

The aim of the study was to assess the impacts of driving with Cruise Control (CC) on driver behavior. In Germany, Cruise Control is available in about 10-20% of all cars and up to 50% in large cars. Studies which examine the impact of Cruise Control on driving are currently not available. However, a substantial number of studies are concerned with ACC (adaptive cruise control) which also maintains a safe distance towards preceding cars. These show that with ACC speed limits are observed more closely. However, drivers take longer to react to stimuli in the environment which require a speed adaptation and are not covered by ACC (e.g. fog, rain, heavy traffic). Furthermore, drivers tend to engage more in secondary tasks leading to a deterioration of lane keeping performance. Since Cruise Control also takes over speed regulation when no preceding cars are present it is possible that similar negative effects could result for Cruise Control.

In order to examine these hypotheses a study was conducted in the motion-based driving simulator at the DLR including 11 Cruise Control users and 11 novices (mean age 38 years). Each driver did three trips without system, with Cruise Control and with ACC. Each trip included two highway sections and a rural road with changing speed limits and a foggy section. On the first highway, a traffic jam was additionally introduced. Finally, the second highway section included two stretches where secondary tasks were done. Driving behavior and physiological reactions (heart rate) were recorded. In addition, subjective ratings of stress and an evaluation of the systems were conducted. When driving with Cruise Control or ACC the subjects were instructed to use these systems as frequently as possible. This was done at about 90% of travel time.

Overall, the results for Cruise Control and ACC are very similar. Compliance for speed limits was better and lower maximum speeds were attained. Also, the standard deviation of speed was reduced which might in reality lead to less fuel consumption and a better traffic flow. There was no effect of the distance towards preceding cars. For ACC, this may be due to the fact that the drivers were not allowed to change the target distance of the ACC system.

When speed had to be adjusted due to speed limits or fog this was delayed by about 5 seconds with Cruise Control and ACC as compared to manual driving. Apparently the drivers had to realize first that an intervention was required and that the systems did not adjust speed by themselves.

There was no strong indication of a possible misuse of the systems with regard to engaging more strongly in secondary tasks. Neither Cruise Control nor ACC lead to an increase of the number of secondary tasks which were processed. The negative effects of secondary tasks on lane keeping behavior were strong, but comparable in manual driving and driving with ACC or Cruise Control. However, with ACC and Cruise Control driving speed was not reduced as much when engaging in secondary tasks as it was the case in manual driving. Whether this increases the accident risk cannot be answered by this study. Finally, the drivers evaluated both systems as positive and felt that the ride was safer and less exhausting.

Overall, driving with Cruise Control increases compliance with speed limits and reduces high speeds. Besides these positive effects, Cruise Control as well as ACC impairs the adaptation of speed to changes in the environment. This may be interpreted as reduced situation awareness. This may be counteracted by improving the technology in order to include these necessary adaptations in the system functionality. However, this higher automation could further the loss of situation awareness. Given these concerns and the technological advancements further studies are urgently needed.

Inhalt

1	Hintergrund und Fragestellung	7	6	Auswirkungen des Fahrens mit Tempomat und ACC	46
2	Marktdurchdringung von Tempomat und ACC	8	7	Literatur	50
3	Literaturübersicht ACC Tempomat	10			
3.1	Normales Fahren	10			
3.2	Fehlfunktionen	16			
3.3	Zusammenfassung	16			
4	Hypothesen und Methode	18			
4.1	Versuchsplan und Probanden	19			
4.2	Strecken und Szenarien	20			
4.2.1	Erster Autobahnabschnitt	20			
4.2.2	Landstraße	20			
4.2.3	Zweiter Autobahnabschnitt	21			
4.3	Assistenzsysteme	21			
4.4	Dynamischer Fahrsimulator	22			
4.5	Daten	23			
4.6	Versuchsdurchführung	24			
5	Ergebnisse der Studie	25			
5.1	Nutzung der Systeme	25			
5.2	Fahrverhalten	26			
5.2.1	Zusammenfassung: Veränderung des Fahrverhaltens durch Tempomat und ACC	35			
5.3	Nebenaufgaben	36			
5.4	Herzrate	41			
5.5	Subjektive Bewertung der Fahrt	43			
5.6	Bewertung von Tempomat und ACC	44			
5.7	Vergleichende Bewertung der Systeme am Ende der Untersuchung	44			
5.8	Auswirkungen der Systeme auf die subjektiv eingeschätzte Vigilanz	45			
5.9	Zusammenfassung der subjektiven Bewertung	45			

1 Hintergrund und Fragestellung

In den letzten Jahren werden zunehmend Assistenzsysteme entwickelt und auf den Markt gebracht, die den Fahrer beim Fahren entlasten sollen. Ein prominentes Beispiel ist das „Adaptive Cruise Control“ (ACC), das eine vom Fahrer eingestellte Geschwindigkeit selbstständig einhält und dabei auch andere Fahrzeuge berücksichtigt. Nähert man sich einem voranfahrenden langsameren Fahrzeug, so verzögert ACC die Geschwindigkeit und hält automatisch einen sicheren Abstand zu diesem Fahrzeug ein. Vor allem auf der Autobahn kann dieses System über weite Strecken vollständig die Geschwindigkeitsregelung übernehmen. Schon vor der Markteinführung des ACC wurden verschiedene Studien durchgeführt, da man neben der positiven Entlastungswirkung weitere negative Folgen vermutete. Den theoretischen Hintergrund dazu liefern Handlungstheorien wie zum Beispiel das Kontroll-Modell von HOCKEY (HOCKEY, 1997), das in Bild 1 dargestellt ist.

HOCKEY geht davon aus, dass der Mensch mit Hilfe von zwei Prozessen („LOOP A“ und „LOOP B“) seine eigene Leistung überwacht und regelt. In der ersten Schleife, die weitgehend unbewusst abläuft, wird geprüft, inwieweit die eigene Leistung („overt performance“) sich im Einklang mit den selbst gesetzten Zielen befindet („task goals“). Bei Abweichungen wird gegengeregelt, wobei Anstrengung eine wesentliche Rolle spielt. Hier kommt der zweite Kontrollkreis ins Spiel, der die notwendige Anstrengung überwacht und regelt. Wenn es nicht mehr möglich ist, ein Ziel mit einer akzeptablen Anstrengung zu erreichen, kann das Ziel geändert werden. Umgekehrt können neue, anspruchsvolle-

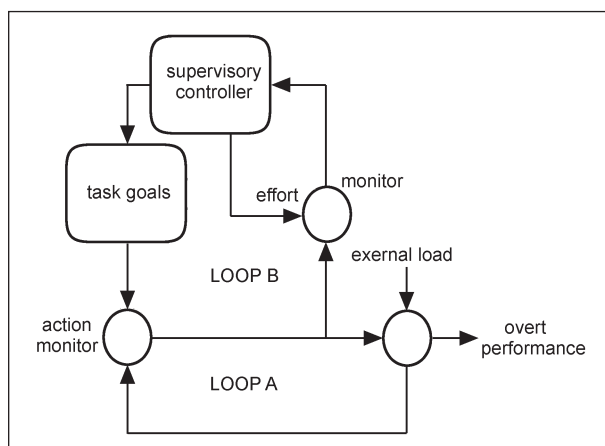


Bild 1: Kontrollmodell der menschlichen Handlung (nach HOCKEY, 1997)

re Ziele gewählt werden, wenn die eigene Aktivierung oder Anstrengung zu gering wird.

An dieser Stelle setzen die Bedenken gegenüber Systemen wie ACC ein. Wenn der Fahrer zu stark entlastet wird, wird er die frei werdenden Ressourcen möglicherweise in andere Tätigkeiten investieren, die mit dem Fahren wenig zu tun haben. In einem ersten Abschnitt werden entsprechende Studien dargestellt, die einige Befunde liefern, die diese Bedenken unterstützen. Bei dieser Literaturübersicht fällt auf, dass der Vorläufer des ACC, der Tempomat, bislang kaum berücksichtigt wurde. Tempomaten sind bereits seit einigen Jahren auf dem Markt und halten eine vom Fahrer eingestellte Geschwindigkeit selbstständig ein. Der Fahrer muss dabei andere Fahrzeuge berücksichtigen und gegebenenfalls selbst eingreifen, um einen sicheren Abstand einzuhalten. Wenn keine oder wenig andere Fahrzeuge vorhanden sind, zum Beispiel auf einer leeren Autobahn, wird auch mit Tempomat der Fahrer von der Längsführung weitgehend entlastet. Damit müssten prinzipiell dieselben Bedenken greifen wie bei ACC.

Vor diesem Hintergrund ist es erstaunlich, dass diese Forschungslücke existiert. Die vorliegende Simulatorstudie soll dazu beitragen, eine Abschätzung einer möglichen negativen Wirkung des Tempomaten vorzunehmen. Dazu wird zunächst versucht, das Ausmaß des möglichen Problems zu beschreiben, indem Marktdurchdringung und Nutzung untersucht werden. In einem kontrollierten Simulatorexperiment werden Szenarien präsentiert, bei denen der Tempomat entlastet, und Auswirkungen auf das Erleben und Verhalten der Fahrer untersucht. Dabei geht es einerseits darum, ob der Fahrer auch bei Fahrten mit Tempomat noch in derselben Weise wie ohne System die Verkehrssituation beim Fahren berücksichtigt, also z. B. auf Verkehrszeichen reagiert, seine Geschwindigkeit an die Sichtbedingungen anpasst usw. Andererseits wird im Sinne der Kontrolltheorie geprüft, ob die Entlastung durch den Tempomat für die Zuwendung zu fahrfremden Tätigkeiten genutzt wird und so mit einer erhöhten Ablenkung bei Fahrten mit Tempomat zu rechnen ist. Um mögliche Effekte in ihrer Größenordnung zu bewerten, wird außerdem eine Fahrt mit ACC als Vergleich eingeführt.

Mit dieser Studie wird die Fahrsicherheit mit Tempomat untersucht im Sinne der sicheren Bewältigung einer Verkehrssituation. Eine Aussage über die Verkehrssicherheit lässt sich daraus nur ablei-

ten, wenn zusätzlich die Auftretenshäufigkeit derartiger Situationen im Verkehr bekannt ist, da es dabei um die Veränderung der Unfallzahlen geht. Insofern ist die Aussagekraft dieser Studie sicherlich begrenzt.

2 Marktdurchdringung von Tempomat und ACC

Eine zuverlässige Analyse der Marktdurchdringung von ACC und Tempomat erscheint schwierig. ACC-Systeme sind zwar bei Oberklassefahrzeugen fast aller Fahrzeughersteller verfügbar, gehören aber nicht zur Serienausstattung. Verschiedene Autohersteller und Zulieferer wurden von den Autoren hinsichtlich der Verkaufszahlen befragt, gaben jedoch überwiegend keine Auskunft, da dies interne Marktdaten seien. VW und Citroën lieferten zumindest Zahlen über verkaufte Tempomaten. Über die gesamte VW-Modellpalette hinweg lag die Ausstat-

tung der Fahrzeuge mit Tempomat bei 76.6 % bei insgesamt 519.224 Auslieferungen der Marke Volkswagen Pkw in Deutschland im Jahr 2006 (Quelle: VW Aktiengesellschaft). Citroën hatte im Jahr 2006 in Deutschland fast 90.000 Fahrzeuge verkauft. Die Ausstattung mit Geschwindigkeitsregelanlagen lag über die gesamte Palette dort bei 47.23 %.

Um eine breitere Datenbasis zu erhalten, wurde bei der Firma ABH-Marketing ein Detailreport zur Marktdurchdringung des Tempomaten angefordert. Diese Studie basiert auf einer repräsentativen Befragung von ca. 6.000 Autofahrern pro Jahr, die dreimal jährlich durchgeführt wird und anhand von Werkstattrechnungen und mit Fahrzeugpapieren gestützt wird.

Hinsichtlich der Ausstattung nach Fahrzeugklasse in Deutschland im Jahr 2006 (siehe Bild 2) findet sich der Tempomat in der oberen Mittelklasse und Oberklasse bei 50 % der Fahrzeuge. In der Mittelklasse, bei Vans und Geländewagen ist ein Tempo-

	Gesamtbestand in 1.000	Ausstattungsquote 2006		2005	2004
		in 1.000	in %	in %	in %
Mini	2.125	124	6	4	3
Kleinwagen	8.222	380	5	4	5
Untere Mittelklasse	13.592	1.620	12	9	7
Mittelklasse	11.325	2.990	26	25	22
Obere Mittel-/Oberklasse	4.487	2.248	50	46	43
kleine Vans	2.696	557	21	22	16
große Vans	1.000	225	23	32	32
Geländewagen	1.157	305	26	26	27
Utilities	1.652	107	7	4	7

Bild 2: Ausstattung mit Tempomat nach Fahrzeugklassen (Deutschland 2006)

	Gesamtbestand in 1.000	Ausstattungsquote 2006		2005	2004
		in 1.000	in %	in %	in %
bis zu 5.000 km	5.821	430	7	8	9
5.001-7.500 km	3.568	350	10	11	10
7.501-10.000 km	11.858	1.760	15	12	11
10.001-12.500 km	4.722	793	17	16	13
12.501-15.000 km	7.042	1.317	19	14	15
15.001-17.500 km	1.304	290	22	21	14
17.501-20.000 km	4.733	1.228	26	22	18
20.001-25.000 km	2.387	681	29	26	19
25.001-30.000 km	2.487	672	27	28	29
30.001 km und mehr	2.585	1.102	43	50	35

Bild 3: Fahrleistung und Ausstattungsquote mit Tempomat (Deutschland, 2006)

mat bei ca. 25 % der Fahrzeuge vorhanden, in der unteren Mittelklasse bei 12 %. Bei den anderen Fahrzeugklassen liegt der Anteil unter 10 %. Im Vergleich mit den Jahren 2004 und 2005 lässt sich ein leichter Zuwachs feststellen.

Anhand der bereitgestellten Daten lässt sich ebenfalls erkennen, dass der Tempomat insbesondere von Vielfahrern genutzt wird (siehe Bild 3). 43 % der Fahrzeuge von Fahrern mit einer jährlichen Fahrleistung von mehr als 30.000 km sind mit einem Tempomat ausgestattet. Bei einer Fahrleistung von bis zu 30.000 km liegt die Ausstattung unter 30 % und erreicht bei der Gruppe mit der niedrigsten Fahrleistung (bis zu 5.000 km) einen Wert von 7 %.

Bezogen auf das Geschlecht der Fahrer lässt sich zum einen sagen, dass der Anteil der männlichen

Tempomatfahrer etwas höher ist als der Anteil der Frauen, die ein Fahrzeug nutzen, das mit einem Tempomat ausgestattet ist. Bei den Männern werden etwas häufiger Fahrzeuge mit Tempomat von älteren Personen ab 50 Jahren gefahren, bei den Frauen bereits ab 40 Jahren (siehe Bild 4).

Alters- und Geschlechtseffekte sind vermutlich mit der Fahrzeugklasse konfundiert. Allerdings ist dies auf Basis der vorliegenden Studiendaten nicht zu prüfen, da nur die eindimensionalen Tabellen zur Verfügung stehen, aber keine Kreuztabellen. Festzuhalten bleibt, dass ein Tempomat bei fast der Hälfte aller Oberklassefahrzeuge und bei ca. einem Viertel der Mittelklassefahrzeuge vorhanden ist. Über die Nutzung der Systeme ist allerdings keine Aussage möglich. Damit betrifft das Fahren mit Tempomat möglicherweise einen großen Teil der

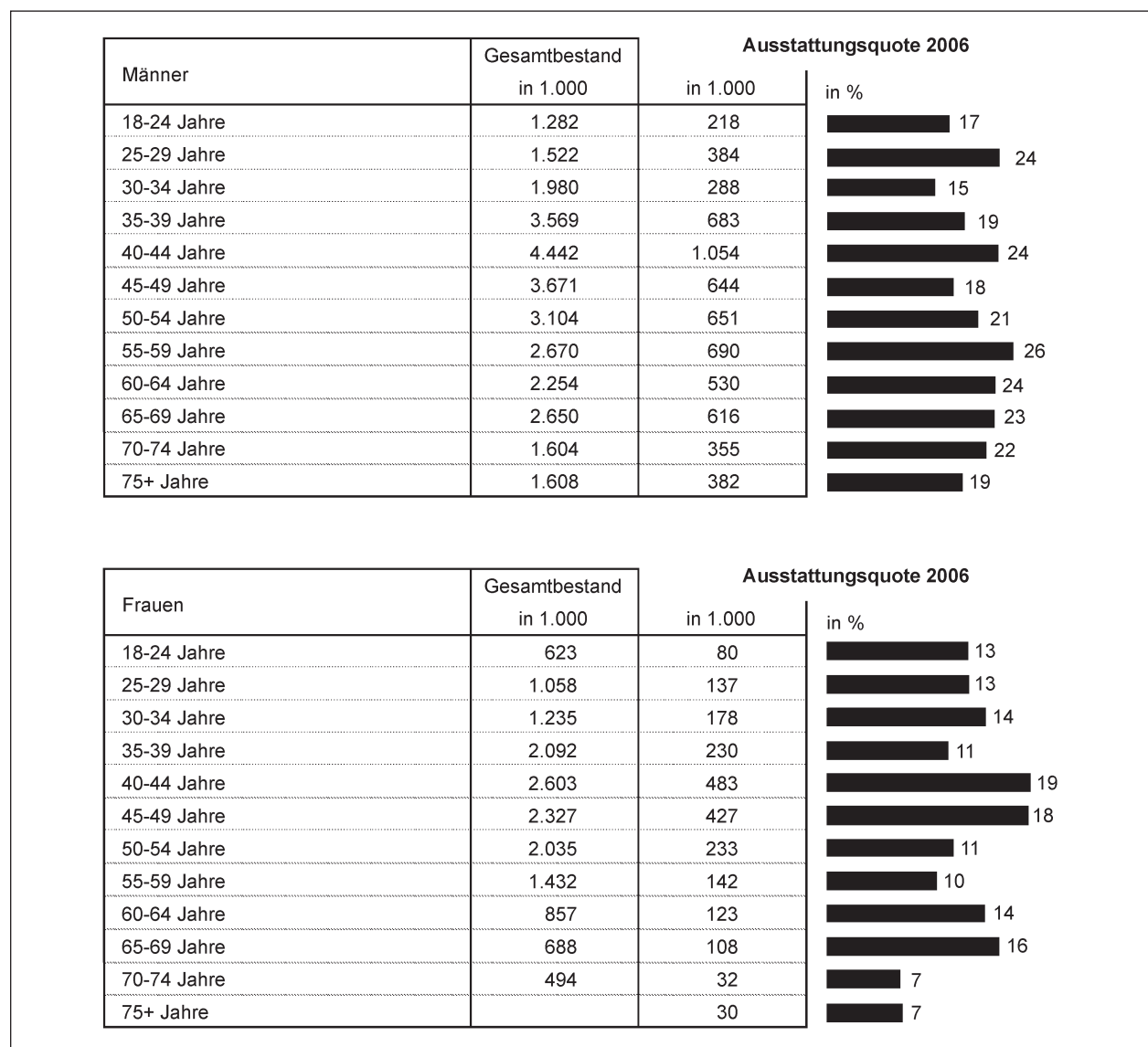


Bild 4: Ausstattungsquote mit Tempomat für Männer und Frauen getrennt nach Alter (Deutschland, 2006)

deutschen Fahrer. Wie häufig dies allerdings der Fall ist, ist momentan nicht zu beantworten.

3 Literaturübersicht ACC und Tempomat

Seit der umfassenden Literaturanalyse, die BULD & KRÜGER im Rahmen des Projektes „EMPHASIS-Effort-Management und Performance-Handling in sicherheitsrelevanten Situationen“ (BULD & KRÜGER, 2002) durchgeführt haben, wurde eine Anzahl weiterer Studien durchgeführt, die sich mit Verhaltensänderungen bei Fahrten mit ACC beschäftigen. Zum Tempomat finden sich dagegen keine weiteren Studien, obwohl die Marktdurchdringung dieses Systems sicherlich größer ist. Mit Hilfe der Studien zu ACC-Systemen lassen sich ebenfalls Hinweise auf mögliche Effekte des Tempomaten ableiten, da die entlastende Wirkung ähnlich, allerdings bei ACC vermutlich etwas stärker, sein könnte. Aus diesem Grund werden im Folgenden die Studien zur Wirkung von ACC kurz dargestellt. In einem ersten Abschnitt werden Studien vorgestellt, die Veränderungen des Fahrverhaltens im Vergleich zu Fahrten ohne System untersuchen. Fehlfunktionen des ACC-Systems sind Gegenstand des zweiten Kapitels. Im letzten Kapitel werden die verschiedenen Studien im Hinblick auf mögliche Verhaltenswirkungen, die auch bei Fahrten mit Tempomat erwartet werden könnten, zusammenfassend bewertet.

Die Literatursuche ergab ca. 30 weitere Artikel, die nicht dargestellt werden, da sie keine Aussage über die Verhaltenswirkungen von ACC oder Tempomat im Vergleich zu Fahrten ohne System ermöglichen. Teilweise ging es um unterschiedliche Systemauslegungen, teilweise fehlten Kontrollbedingungen, teilweise standen Überlegungen zu Design und Auslegung im Vordergrund (BAREKET, FANCHER, LEE, & ASSAF, 2003; HAN, YI, LEE, KIM & YI, 2006; BORK, HAMANN & SCHUBERT, 1994; BROOK-CARTER, PARKES, BURNS & KERSLOOT, 2002; BULD & KRÜGER, 2002; FASTENMEIER, STADLER & LERNER, 1995; GSTALTER & FASTENMEIER, 1992; GOODRICH, BOER & INOUE, 1999; ISHIDA, TANAKA, KONDO & KAWAGOE, 2000; KAZI, STANTON, WALKER & YOUNG, 2007; KELBER et al., 2004; KITTERER, BREUER, ZIELKE & SANDKÜHLER, 2004; KÖNIG, WEIß & MAYSER, 2002; LEE, McGEHEE, BROWN & NAKAMOTO, 2007; LEHMER et al.,

2005; MARSDEN, McDONALD & BRACKSTONE, 2001; OHNO, 2001; PAULIG, 2004; PETERS, 2000; ROBINSON & CARTER, 1997; SEPPELT & LEE, 2007; STANTON & YOUNG, 1998; VAHIDI & ESKANDARIAN, 2003; van der HORST, 1999; WARD, 2000; WEINBERGER, 2001; WINNER, WITTE, UHLER & LICHTENBERG, 1995).

3.1 Normales Fahren

ABENDROTH (ABENDROTH, 2001) untersuchte in einem Feldversuch, ob ein Zusammenhang zwischen Fahrertypen und der Nutzung sowie Bewertung von ACC-Systemen besteht. Hierzu fuhren 29 im Umgang mit ACC erfahrene Versuchspersonen einen 228 Kilometer langen Autobahnkurs jeweils mit und ohne ACC. Anhand ihres Fahrverhaltens ergaben sich drei Gruppen von Fahrern: langsame, komfortbewusste Fahrer (Gruppe 1), Durchschnittsfahrer mit hohem Sicherheitsbewusstsein (Gruppe 2) und schnelle, sportliche Fahrer, die gerne dicht auffahren (Gruppe 3).

Alle Gruppen hielten mit ACC einen geringeren Abstand (1.5 s) zum Vordermann ein als bei der Fahrt ohne ACC (2.2 s). Die maximale Beschleunigung beim Wechsel von der Folgefahrt zur freien Fahrt (beim Ausscheren des Vordermanns, bei eigenem Spurwechsel und beim Wegfahren des Vordermanns) war mit ACC niedriger als ohne ACC. Weiter zeigte sich, dass die Verzögerung beim Auffahren auf den Vordermann mit ACC geringer war als ohne ACC. Auch die eingestellte Wunschgeschwindigkeit war mit ACC geringer (118.6 km/h) als die mittlere Geschwindigkeit bei Fahrten ohne ACC (128.8 km/h). Weiter nahmen starke Geschwindigkeitsüberschreitungen (> 20 km/h) mit ACC ab. Der Anteil niedriger Überschreitungen (< 20 km/h) nahm dagegen zu. Ein Unterschied zwischen den Fahrergruppen zeigte sich tendenziell auch beim Umgang mit dem System vor allem in den Situationen, in denen die Fahrer eingreifen und das System übersteuern mussten. Dieser Unterschied entsprach dem typischen Fahrverhalten ohne System. Insgesamt wurde ACC als komfortabel angesehen und überwiegend positiv bewertet (88 %).

Damit verändert ACC das Fahrverhalten, indem langsamer gefahren wird und starke Geschwindigkeitsübertretungen abnehmen zugunsten geringer Geschwindigkeitsübertretungen. Mit dem System werden geringere Abstände zum Vorderfahrzeug gehalten, allerdings weniger stark beschleunigt und

verzögert. Bis auf den geringeren Abstand ergibt dies das Bild eines ruhigeren, langsameren, zurückhaltenden Fahrens mit ACC.

Im Rahmen des Projektes „EMPHASIS“ untersuchten BULD und KRÜGER (BULD & KRÜGER, 2002) die Auswirkungen unterschiedlicher Gestaltungsmöglichkeiten des ACC-Systems. Dazu wurden insgesamt zehn Fahrstudien durchgeführt, sieben davon in einem Fahrsimulator mit Bewegungssystem und drei mit Realfahrten. Für die vorliegende Literaturübersicht werden nur die Studien zu den Verhaltenswirkungen bei Fahrten mit ACC dargestellt.

In einer dieser Studien wurden neben ACC auch ein Spurhaltesystem (Heading Control, HC) und die Kombination dieser beiden Systeme untersucht (BULD & KRÜGER, 2002). 24 Fahrer (12 Frauen, 12 Männer) sollten unter Zeitdruck eine Fülle unterschiedlicher Situationen bewältigen, wobei derjenige Fahrer, der die Aufgabe am schnellsten und fehlerfrei bewältigte, einen Preis gewinnen konnte. Je acht der Probanden fuhren mit einem der drei Systeme.

Auf der zu fahrenden Strecke wurden unterschiedliche Aufgaben der Längs- und Querverführung realisiert, wobei der Fahrer in der Regel ein Führungsfahrzeug hatte, das sich entweder richtig oder falsch verhielt, also zum Beispiel an einer Kreuzung statt wie angezeigt auf 50 km/h nur auf 70 km/h abbremsste. Die Strecke bestand zu zwei Dritteln aus Landstraße und zu einem Drittel aus einer Autobahn. Erhoben wurden neben dem Blickverhalten als Indikator für Aufmerksamkeits- und Ermüdungsprozesse das Fahrverhalten, die subjektive Bewertung der Systeme und auch die Herzrate als Beanspruchungsmaß.

Für ACC zeigte sich, dass Fahrer im Vergleich zur Fahrt ohne System schneller in eine scharfe Linkskurve einbiegen, wenn das Führungsfahrzeug dies vorführt („Mitzieheffekt“). Tendenziell zeigt sich dies auch für eine Situation, bei der das Führungsfahrzeug zu knapp an einem Pannenfahrzeug vorbeifährt. Schließlich verschlechtert sich die Spurhaltung bei den Fahrten mit ACC.

Bei einem plötzlich bremsenden Führungsfahrzeug gab es mit ACC keine Kollisionen, während in der Fahrt ohne System fünf Fahrer einen Unfall hatten. Bei einem Fahrzeug des Gegenverkehrs, das plötzlich auf die Mittelspur ausscherte, reduzierten die Fahrer mit ACC ihre Geschwindigkeit nicht, wohin-

gegen alle Personen bei der Fahrt ohne System dieses Verhalten zeigten. Auch bei länger dauernden Warnungen (z. B. Warnung vor Hindernis in 2 km) kollidierten Fahrer mit ACC häufiger mit dem dann plötzlich auftauchenden Fahrzeug als beim Fahren ohne ACC.

Im subjektiven Bereich nahm die erlebte Aufmerksamkeit, aber auch der Fahrspaß mit ACC im Lauf der Fahrt ab, während sich bei Fahrten ohne System keine Veränderung zeigte. Dagegen nehmen Anstrengung und Müdigkeit zu, wobei sich diese Müdigkeit im Blickverhalten nicht validieren ließ.

Die Befragung nach verschiedenen Beanspruchungskomponenten ergab, dass die Fahrer mit ACC auf der Autobahn mehr entscheiden, Mehrfach Tätigkeiten ausführen und in Zusammenhängen denken müssen. Je negativer die Einstellungen gegenüber dem ACC war, desto mehr fühlten sich die Fahrer dadurch beansprucht, weniger entlastet, stärker abgelenkt und fanden ACC weniger komfortabel.

Insgesamt zeigt diese Studie damit einige Hinweise darauf, dass ACC in bestimmten Situationen für die Sicherheit problematisch sein könnte. Die Autoren sehen die Effekte als Zeichen für ein verringertes Situationsbewusstsein. Beim Fahren mit ACC wird deshalb nicht auf alle relevanten Eigenschaften der Situationen adäquat reagiert.

MARBERGER (MARBERGER, 2007) untersuchte über eine Befragung mit 24 Probanden Systemverständnis und den möglichen Fehlgebrauch von ACC. Insgesamt zeigt sich, dass die Fahrer ihr eigenes Systemverständnis als gut einschätzen. Allerdings finden sich Hinweise auf eine Nutzung des Systems in kritischen Situationen, z. B. bei schlechter Sicht. Da im Rahmen dieser Studie keine Untersuchung des Fahrverhaltens mit ACC stattfand, bleibt unklar, in welchem Umfang dieser Effekt bei tatsächlichen Fahrten auftritt und welche Relevanz er dort hat.

HOEDEMAEKER et al. (HOEDEMAEKER, ANDRIESSEN, WIETHOFF & BROOKHUIS, 1998) untersuchten in einem statischen Fahrsimulator mit 38 Probanden den Einfluss des Fahrstils bei Fahrten mit dem ACC auf einer Autobahnstrecke. Sie teilten die Fahrer nach dem Driving Style Questionnaire (WEST, 1992, zitiert nach HOEDEMAEKER et al., 1998) in vier Gruppen ein, wobei zwei Merkmale berücksichtigt wurden (mit jeweils den Ausprägungen „hoch“ und „niedrig“). Das Merkmal „Speed“ be-

zeichnet die Tendenz zum schnellen Fahren und zum Überschreiten der zulässigen Geschwindigkeit. Das Merkmal „Focus“ hingegen beschreibt die Fähigkeit zum Umgang mit Ablenkung beim Fahren. Das ACC wurde mit drei unterschiedlichen Sekundenabständen gefahren (1 s, 1.5 s und ein individuell einstellbarer Abstand). Dies wurde kombiniert mit einem übersteuerbaren ACC und einer weiteren Variante, bei der nur einmal vor Versuchsbeginn eine Geschwindigkeit gewählt werden konnte. Hinzu kam eine Kontrollfahrt ohne System. Eine hohe Ausprägung des Persönlichkeitsmerkmals „Speed“ führte zu kürzeren Sekundenabständen. Auch mit ACC war der Sekundenabstand kleiner. Von diesen Personen mit hoher Ausprägung wurde auch das übersteuerbare System bevorzugt. Bei niedrigen Ausprägungen wurde das ACC-System besser bewertet und auch das nicht übersteuerbare System akzeptiert.

In einer weiteren Auswertung dieser Studie von HOEDEMAEKER et al. (HOEDEMAEKER & BROOKHUIS, 1998) zeigte sich zusätzlich, dass mit ACC in allen Fahrergruppen die Durchschnittsgeschwindigkeit höher war (115 vs. 107 km/h). Die Probanden fuhren mit ACC länger auf der linken Spur und hielten diese weniger genau ein. In einer Notbremsungsaufgabe zeigen Fahrer mit ACC kürzere zeitliche Abstände zum Vordermann und spätere, stärkere Bremsungen. Im subjektiven Bereich wurde das Fahren mit ACC weniger anstrengend erlebt.

Insgesamt scheint nach dieser Studie ACC eher negativ auf die Fahrsicherheit zu wirken, da die linke Spur häufiger genutzt wurde, die Durchschnittsgeschwindigkeit höher war und die Sekundenabstände kürzer.

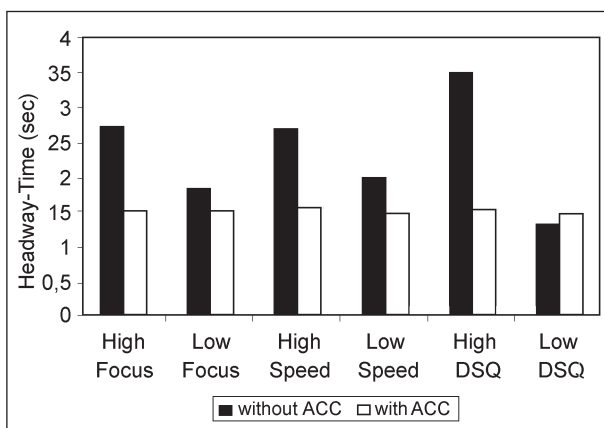


Bild 5: Sekundenabstände mit und ohne ACC (aus CHO et al., 2006)

CHO et al. (CHO, NAM & LEE, 2006) untersuchten im statischen Fahrsimulator der Kookmin-Universität den Einfluss von ACC auf das Fahrverhalten unter Einbeziehung unterschiedlicher Fahrstile. 40 Probanden, davon 21 Männer und 19 Frauen, fuhren auf einer Landstraße mit geraden Abschnitten, Kurven und Abbiegemöglichkeiten, beginnend mit einer Fahrt ohne ACC und daran anschließend mit ACC. Untersuchte Fahrmanöver waren zum einen das Annähern an ein vorausfahrendes Fahrzeug und das Folgen eines Fahrzeuges, das dann die Spur wechselte. Die Fahrer fuhren mit ACC eine fest gesetzte Geschwindigkeit von 90 km/h, wobei die Probanden sich einen individuellen Sekundenabstand auswählen konnten, der ihnen beim Fahren angenehm war und zwischen 0.5 und 2.5 Sekunden lag.

Hinsichtlich der Fahrermerkmale wurden die Probanden nach der Fahrt anhand des Driving Style Questionnaire (DSQ) in verschiedene Gruppen eingeteilt, wobei sich durch ACC Gruppenunterschiede beim Fahren ohne System verringerten (siehe Bild 5). Mit ACC wurden von fast allen Fahrertypen geringere Sekundenabstände gewählt. Für die Standardabweichung der Querabweichung, ein Maß für die Qualität der Spurhaltung, zeigten sich zumindest teilweise Verschlechterungen mit ACC (siehe Bild 6).

Schließlich fanden sich mit ACC auch häufigere Kopfbewegungen. Die Ergebnisse zur Querabweichung und Kopfbewegungen könnten darauf hindeuten, dass mit ACC die Beanspruchung sinkt und sich die Fahrer von der Fahraufgabe abwenden. Bei gleichzeitig geringeren Sekundenabständen könnte dies die Sicherheit mit ACC verringern.

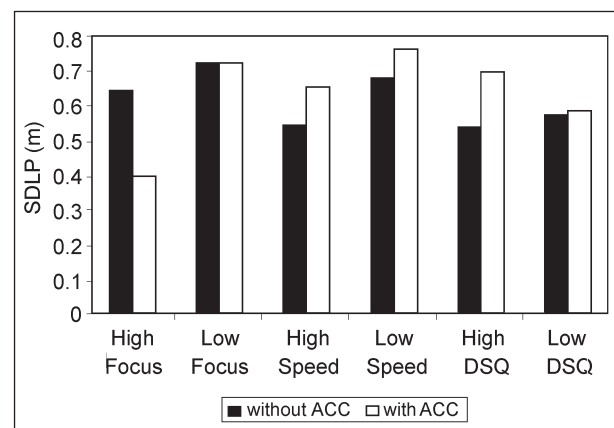


Bild 6: Standardabweichung der lateralen Position mit und ohne ACC (aus CHO et al., 2006)

In einer Feldstudie mit 108 Fahrern untersuchten FANCHER und Mitarbeiter (FANCHER et al., 1998) die Nutzung von ACC und Tempomat. Dabei wurden drei verschiedene Altersgruppen (20-30, 40-50, 60-70) und verschiedene Fahrstile nach dem Driving Style Questionnaire (DSQ) unterschieden. Von den insgesamt 108 Fahrern fuhren 84 Fahrer zwei Wochen mit dem System. Dabei wurde unterschieden zwischen Nutzern und Nichtnutzern des Systems. Eine weitere Gruppe von 24 Fahrern konnte das System fünf Wochen nutzen, wobei von diesen nur Personen einbezogen wurden, die angaben, den Tempomat häufig zu nutzen. Die Fahrer konnten frei entscheiden, wann sie das System nutzen und wie sie den Wunschabstand einstellen wollten. Um zu gewährleisten, dass sowohl der Tempomat als auch das ACC genutzt wurden, konnten die Nutzer sich in der ersten Woche für manuelles Fahren oder Fahren mit Tempomat entscheiden. In der zweiten oder den darauffolgenden Wochen wurde zwischen manuellem Fahren und ACC gewählt.

Hinsichtlich der Nutzung der Systeme wurde zwischen der gefahrenen Distanz und der gefahrenen Dauer unterschieden. Insgesamt sind etwa 114.000 Meilen bei einer Gesamtfahrdauer von 3.050 Stunden zurückgelegt worden. Mit einem der beiden Systeme wird bei etwas über 40 % der Distanz und 23 % der Dauer gefahren. Dies weist darauf hin, dass die Systeme eher bei höheren Geschwindigkeiten genutzt werden. Die Tempomat-Nutzung ist mit 9.5 % der Distanz und 5.4 % der Dauer deutlich geringer als die ACC-Nutzung (30.7 % Distanz, 17.5 % Dauer). Bei der genauen Analyse zeigte sich, dass beide Systeme vor allem bei höheren Geschwindigkeiten genutzt wurden, wobei ACC wiederum bei höheren Geschwindigkeiten bevorzugt wurde. Entsprechend war 83 % der ACC-Nutzung und 87 % der Tempomat-Nutzung auf Autobahnen. Bei niedrigen Geschwindigkeiten wurde das System zwar teilweise auch genutzt, aber nur auf kurzen Strecken (meist kürzer als eine Meile). Bei beanspruchenden Situationen wurde nach Angaben der Fahrer das ACC nicht genutzt. Allerdings berichteten die Fahrer auch, dass sie sich bei Fahrten mit ACC teilweise anderen Tätigkeiten zuwandten. Bei Fahrten mit ACC fielen weniger Fahrer durch aggressiven, drängelnden Fahrstil auf. Insgesamt traten bei keiner der Bedingungen Kollisionen auf, sodass sich hier keine Hinweise finden lassen, dass ACC oder Tempomat die Sicherheit verringern.

Somit wird das ACC von den Autoren positiv bewertet, da es einerseits den Stress für die Fahrer reduziert, andererseits keine negativen Effekte im Sinne von Kollisionen festzustellen sind.

Auf diese Feldstudie nehmen auch RAKHA et al. Bezug (RAKHA, HANKEY, PATTERSON & van AERDE, 2001), die sich bei ihrer Auswertung aber auf den Vergleich von ACC und Tempomat konzentrieren. Als einziges signifikantes Ergebnis lässt sich zeigen, dass die Versuchspersonen ACC häufiger benutzen als den Tempomat.

In einer Reihe von Simulatorstudien (STANTON & YOUNG, 2000; STANTON & YOUNG, 2005; YOUNG & STANTON, 2004) haben sich STANTON und YOUNG mit dem Einfluss von zunehmender Automatisierung auf das Fahrverhalten und auf die Beanspruchung und Akzeptanz durch die Nutzer beschäftigt.

YOUNG & STANTON (YOUNG & STANTON, 2004) untersuchten in einer Fahrsimulatorstudie mit 14 Fahrern unter anderem den Einfluss von ACC bei Folgefahrten mit konstanter Geschwindigkeit (112 km/h) und Nebenaufgabenbearbeitung. Die Probanden fuhren die Versuchsstrecken mit und ohne ACC. Mit ACC veränderten sich weder die Aufgabenbearbeitung noch die Qualität der Querführung. Allerdings verringerte sich die mentale Beanspruchung.

In einem zweiten Experiment mit zwölf Fahrern bremste das Vorderfahrzeug zusätzlich stark ab (48 km/h), wobei diese Situation durch ACC bewältigt werden konnte. Im Vergleich zu der Fahrt ohne ACC ergab sich hier eine bessere Situationsbewältigung im Sinne einer geringeren Variabilität des Abstands. Außerdem war mit ACC die mentale Belastung geringer.

Insgesamt ergeben sich hier eine Entlastung durch das ACC-System und keine Hinweise, dass dieses für eine bessere Bearbeitung von Nebenaufgaben genutzt wird, und keine Veränderungen der Querführung.

STANTON & YOUNG (STANTON & YOUNG, 2000; STANTON & YOUNG, 2005) untersuchten 110 Versuchspersonen in einem Fahrsimulator mit zwei jeweils 20-minütigen Fahrten mit und ohne ACC, wobei in der ACC-Bedingung die Art des Feedbacks (akustisch, akustisch + normales Display, akustisch + normales Display + Head-up-Display) variiert wurde. Zudem wurde bei beiden Fahrten die Verkehrsdichte (als externe Belastung) verändert. Einerseits reduziert ACC die subjektive Beanspruchung.

chung (workload) und den erlebten Stress, insbesondere bei hohen Verkehrsdichten. Andererseits wird auch das Situationsbewusstsein (erfasst über die Situational Awareness Rating Technique von TAYLOR et al. 1995) reduziert. Zusätzliches Feedback (z. B. über akustische Warnungen und über ein Head-up-Display) führt zu erhöhter Frustration und verringertem Situationsbewusstsein.

Damit entlastet ACC den Fahrer insbesondere bei hoher Verkehrsdichte, verringert aber gleichzeitig sein Situationsbewusstsein umso mehr, je aktiver dieses System gestaltet ist.

RUDIN-BROWN & PARKER (RUDIN-BROWN & PARKER, 2004) untersuchten bei 18 Probanden die Auswirkungen von ACC (zwei Abstände, 1.4 und 2.4 Sekunden) im Vergleich zu Fahrten ohne System auf das Fahrerverhalten bei Folgefahrten auf einer Versuchsstrecke, wobei gleichzeitig eine Nebenaufgabe (Zahlensuchaufgabe) bearbeitet wurde. Außerdem sollte als weitere, sicherheitsrelevante Nebenaufgabe auf das Aufleuchten der Bremslichter des Vordermanns reagiert werden. Am Ende der Fahrt wurde ein Systemausfall simuliert, bei dem das ACC-System das vorausfahrende Fahrzeug ignorierte und den Abstand verringerte. Gemessen wurde die Zeit, bis eine Reaktion der Versuchsperson auftrat. Es zeigte sich, dass die Zahlensuchaufgabe mit ACC besser bearbeitet wurde, aber die Reaktionszeiten bei der sicherheitsrelevanten Nebenaufgabe langsamer wurden, wobei dies besonders bei Personen mit hohen Werten in einer Sensation-Seeking-Skala der Fall war. Der Systemausfall wurde von Personen mit internalem Locus of Control schneller bemerkt. Das selbst berichtete Vertrauen in das System steigt durch die Erfahrung mit dem System.

Insgesamt führt nach dieser Studie ACC zu einer Entlastung, die für die Bearbeitung von Nebenaufgaben genutzt wird. Dadurch verschlechtert sich die Reaktionszeit in der Hauptaufgabe, wenn plötzlich gebremst werden muss. Nach Meinung der Autoren scheint hier ein zu großes Vertrauen in das System aufgebaut zu werden.

SAYER et al. (SAYER, MEFFORD, SHIRKEY & LANTZ, 2005) untersuchten in einem Feldversuch mit 66 Fahrern über jeweils vier Wochen den Einfluss von ACC. In der ersten Woche war das ACC abgeschaltet und wurde anschließend aktiviert. Mit stichprobenartigen Videoaufzeichnungen und Verhaltensbeobachtungen wurde erfasst, wie häufig Nebentätigkeiten ausgeübt wurden. Es wurden Ver-

haltensänderungen innerhalb der ersten vier Wochen analysiert. Hier ergab sich im Vergleich der ersten (ohne System) und den folgenden Wochen eine Zunahme von Nebentätigkeiten, insbesondere von Kommunikation. Die Probanden erklärten, dass dies darauf zurückzuführen sei, dass sie das System ihren Beifahrern erklärt hätten. Die Autoren schließen deshalb, dass die Häufigkeit von Nebentätigkeiten durch ACC nicht zunimmt.

In einer Feldstudie des NHTSA (NHTSA, 2005) wurde ebenfalls ACC bei 96 Testfahrern über drei bis vier Wochen untersucht, wobei das ACC ab der zweiten Woche verfügbar war. In der ersten Woche war nur der Tempomat nutzbar. Hinsichtlich der Nutzungshäufigkeiten lässt sich zeigen, dass ACC in etwa 37 % der gefahrenen Distanz genutzt wurde, im Vergleich zu einer Tempomat-Nutzung von 20 % in der ersten Woche. ACC wurde in allen Fahrsituationen und -bedingungen häufiger genutzt, insbesondere auch in Situationen mit hoher Verkehrsdichte. Weiter zeigte sich, dass ältere Fahrer das ACC-System häufiger nutzten.

Diese Feldstudie zeigt außerdem deutliche Verhaltensänderungen durch ACC, die allerdings eher positiv zu bewerten sind (weniger Spurwechsel, größere Abstände, schnellere Reaktionszeiten). Allerdings gibt es zumindest anfänglich Hinweise, dass häufiger Nebentätigkeiten durchgeführt werden. Problematisch ist das Fehlen einer Kontrollgruppe, da nur mit der ersten Beobachtungswoche verglichen wurde. Auch der Vergleich von Abschnitten mit und ohne ACC- bzw. Tempomat-Nutzung ist wenig aussagekräftig, da diese mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht vergleichbar sind (ACC wird in bestimmten Situationen ein- bzw. ausgeschaltet).

WEINBERGER et al. (WEINBERGER, WINNER & BUBB, 2001) untersuchten in einem ACC-Feldversuch mit 15 Testfahrern über vier Wochen, ob es Probleme in Situationen gab, die das ACC-System nicht beherrschte (Übernahmesituationen). Dabei wurden vier Situationen unterschieden (Anhalten, schnelle Annäherung, einscherendes Fahrzeug und bremsender Vordermann). Die Testfahrer sollten dabei beurteilen, inwieweit sie diese Übernahmesituationen beherrscht hatten.

Zu allen fünf Befragungszeitpunkten wurden die Übernahmesituationen als unproblematisch eingestuft, wobei sich keine Unterschiede zwischen den vier Situationen zeigten. Zumindest aus der subjektiven Sicht der Testfahrer ergeben sich damit keine Probleme in diesen Situationen.

ZHENG & McDONALD (ZHENG & McDONALD, 2005) untersuchten, inwieweit Eingriffe bei Nutzung von ACC von dem typischen Fahrerverhalten abhängig sind. Dazu wurden zunächst Normalfahrten und Folgefahrten (Normalfahrt: 1.300 Fahrten von 19 Versuchspersonen; Folgefahrt: 63 Fahrten von acht Versuchspersonen) untersucht, um damit das typische Verhalten der Fahrer zu beschreiben. Bei Fahrten mit ACC wurde dann geprüft, unter welchen Bedingungen ACC übersteuert wurde und der Fahrer eingriff.

Insgesamt zeigte sich eine deutliche Abhängigkeit vom typischen Fahrerverhalten. Wenn das System später oder langsamer bremste, als Fahrer dies normalerweise taten, wurde das System übersteuert. Um eine hohe Akzeptanz zu erreichen, müsste damit der Fahrstil berücksichtigt werden. Im Hinblick auf Verhaltensänderungen ist diese Studie wenig aussagekräftig.

RAJAONAH et al. (RAJAONAH, TRICOT, ANCEAUUX & MILLOT, 2008) führten eine Simulatorstudie im unbewegten Simulator mit 42 Testfahrern durch, wobei sowohl eine Landstraße mit mehreren Ortschaften als auch eine zweispurige Autobahn enthalten waren. Das ACC-System wurde insgesamt 72 % der Zeit genutzt, was nach Aussage der Autoren sicherlich nicht der „normalen“ Nutzungshäufigkeit entspricht. Eine Unterteilung nach Testfahrern mit starker (über 67.4 % der Zeit) und geringerer Nutzung (darunter) zeigte eine stärkere Entlastung und geringere Vigilanzminderung bei den Fahrern mit häufiger Nutzung. Diese beurteilten auch das allgemeine Kollisionsrisiko als geringer. Da hier eine Kontrollgruppe fehlt, sind die Ergebnisse wenig aussagekräftig im Hinblick auf Verhaltensänderungen.

NILSSON (NILSSON, 1995) untersuchte in einem bewegten Fahrsimulator die Auswirkungen der Systemgrenzen des ACC (Beschränkung der maximalen Bremskraft, Beschränkung auf einen mittleren Geschwindigkeitsbereich, kein Erkennen stehender Hindernisse) mit 20 Testfahrern auf einer zweispurigen Autobahn

Es zeigt sich, dass die Testfahrer mit ACC signifikant mehr Zeit auf der linken Fahrspur verbrachten (ohne ACC: 17 %, mit ACC: 33 %). Bei stehenden Fahrzeugen gab es mit ACC vier, ohne ACC dagegen nur eine Kollision.

TÖRNROS et al. (TÖRNROS, NILSSON, ÖSTLUND & KIRCHER, 2002) untersuchten in zwei

Studien im bewegten Fahrsimulator den Einfluss von ACC im Vergleich zu Fahrten ohne System. In der ersten Studie fuhren 24 Versuchspersonen sowohl mit als auch ohne ACC auf einer Autobahnstrecke und auf einer Landstraße. In der zweiten Studie fuhren acht Versuchsteilnehmer ebenfalls mit und ohne ACC, allerdings nur auf einer Autobahnstrecke. Während der Fahrt wechselten sich einfache und kritischere Fahrsituationen ab, wobei zu den einfachen Situationen das Folgen eines Fahrzeugs mit variabler Geschwindigkeit gehörte. Als kritischere Situation wurde das Einscheren eines Fahrzeugs vor dem Simulatorfahrzeug gewählt, das nach dem Einscheren wegen eines stehenden Fahrzeugs bremste.

Dabei zeigte sich, dass mit ACC die maximale Geschwindigkeit und die Variabilität der Geschwindigkeit geringer waren. Subjektiv waren die Testfahrer weniger beansprucht, was sich auch in einer geringeren Herzfrequenz niederschlug. Allerdings wurde auf der Autobahn länger mit ACC auf der linken Spur gefahren und die minimale Time to Collision war kürzer. Auf das Verhalten in den kritischen Situationen gehen die Autoren in ihrer Auswertung nicht ein. Es findet sich auch keine Klassifizierung, die über den Grad der Kritikalität eines Szenarios informiert.

In einer weiteren Studie, die im bewegten Fahrsimulator durchgeführt wurde, haben AUCKLAND et al. (AUCKLAND, MANNING, CARSTEN & JAMSON, 2008) Probanden unterschiedliche Szenarien mit und ohne ACC fahren lassen. Zu den Szenarien gehörten das Bremsen eines vorausfahrenden Fahrzeuges, das plötzliche Einscheren eines Fahrzeuges und das Beschleunigen eines vorausfahrenden Fahrzeuges in einer Kurve. Auf der subjektiven Ebene wurden u. a. Systemakzeptanz und -vertrauen erfasst. Da die Stichprobe mit nur zehn Versuchspersonen sehr klein war, konnten nur Trends berichtet werden. Je nach Szenario zeigen sich sehr unterschiedliche Ergebnisse:

- Beim Bremsen des Vorderfahrzeuges ist die Time-to-Collision mit ACC länger sowie die Zeit bis zum Bremsen verkürzt.
- Beim Einscheren zeigt sich im Gegensatz dazu eine kürzere Time-to-Collision, also eine höherer Kollisionsgefahr.
- Beim Beschleunigen in der Kurve konnten die Fahrer dem durch das ACC verursachten Spurverlassen in der Kurve entgegenwirken.

Das System wurde von den Fahrern positiv aufgenommen, was sich durch eine Zunahme des wahrgenommenen Komforts ausdrückte. Auf der anderen Seite wurde aber auch über einen reduzierten Fahrspaß mit ACC berichtet.

NIRSCHL & KOPF (NIRSCHL & KOPF, 1997) untersuchten, inwieweit Testfahrer bei unterschiedlichen ACC-Varianten (stärkere und schwächere Verzögerungen, verschiedene Sekundenabstände) einen nötigen eigenen Eingriff bei Brems- und Annäherungssituationen korrekt ausführen konnten. Insgesamt zeigte sich, dass dies von Fahrern sehr gut beherrscht wird. Über eine Nebenaufgabe konnte nachgewiesen werden, dass bereits nach relativ kurzer Übung der Aufgabe die mentale Beanspruchung durch das System verringert wird.

3.2 Fehlfunktionen

BULD & KRÜGER (BULD & KRÜGER, 2002) untersuchten das Übernahmeverhalten bei Systemausfällen. In einer Studie mit sechs Probanden, die vier Fahrten absolvieren mussten, davon drei mit ACC und eine manuelle Fahrt, wurde mit 100 km/h und einer Differenzgeschwindigkeit von 20 km/h gefahren, wobei die Probanden 30 Annäherungen realisieren mussten. Sie wurden instruiert, dass mit Systemausfällen, die variiert wurden (5 %, 25 % und 50 %), zu rechnen sei. Bei einem Systemausfall funktionierte die visuelle Anzeige weiter, aber vom System wurde keine Verzögerung durchgeführt. Es zeigte sich, dass sich die Qualität der Spurhaltung (Standardabweichung der Querabweichung, siehe Bild 7) mit steigendem Automatisierungsgrad (geringerer Anteil von Systemausfällen)

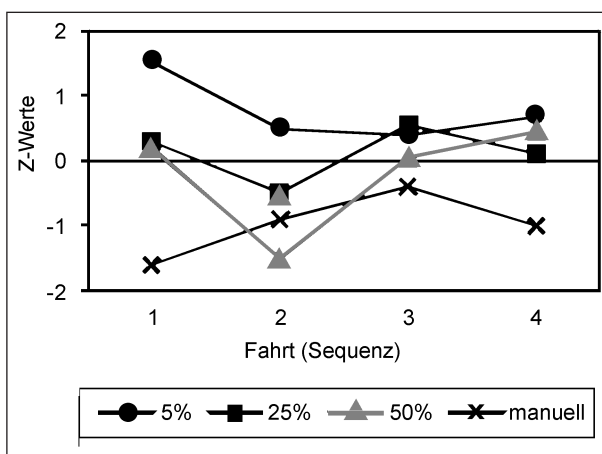


Bild 7: Standardabweichung der Querabweichung bei zunehmender Automatisierung im Vergleich zu manuellem Fahren (nach BULD & KRÜGER, 2002)

verschlechterte. Außerdem war dies zeitabhängig, d. h., die stärksten Effekte der Automation zeigen sich am Anfang bei wachen Fahrern, während der Effekt durch die abnehmende Vigilanz am Ende des Versuches überdeckt wird.

YOUNG & STANTON (YOUNG & STANTON, 2007) untersuchten mit 44 Fahrern in einem Fahrsimulator das Bremsverhalten bei Systemausfällen, wobei ein ACC mit einem ACC+AS (Active Steering) verglichen wurde. Auf einer kurvigen Landstraße folgten die Fahrer einem Fahrzeug, das periodisch von 110 auf 50 km/h abbremste. Diese Situation konnte von dem ACC-System bewältigt werden. Erst am Ende der Versuchsfahrt schaltete sich das ACC einmal ab, sodass hier eingegriffen werden musste. Im Vergleich der beiden Systeme zeigte sich kein Unterschied in der Eingriffszeit. Im Vergleich zu anderen Studien ohne System erscheint die Bremszeit deutlich verlängert. Dies könnte dadurch bedingt sein, dass die Fahrer erst merken mussten, dass das System ausgefallen war, und nicht reagiert haben, da ein Systemausfall zuvor nicht vorkam. Offen bleibt, wie sich die Reaktionszeiten verändern, wenn die Fahrer immer wieder erleben, dass das System diese Situation nicht bewältigt.

3.3 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Literaturübersicht im Hinblick auf die Verhaltensänderungen sind im Überblick in Tabelle 1 dargestellt. Dort sind nur die Studien enthalten, die tatsächlich das Verhalten der Fahrer untersuchten und nicht nur mit einer Befragung arbeiteten. Die Effekte sind im Hinblick auf Geschwindigkeit, Abstand, Querführung und besondere Verhaltensweisen dargestellt. Bei der Geschwindigkeit wurde eine Zunahme mit System negativ bewertet, beim Abstand eine Abnahme. Bei der Querführung wurde eine größere Variation der Position bei der Spurhaltung negativ bewertet. Bei besonderen Verhaltensweisen geht es vor allem um verzögerte Reaktionen auf plötzliches Bremsen des Vordermanns oder auftretende Hindernisse und bei Systemausfällen.

In Bezug auf die Längsregelung sind die Ergebnisse bei der Geschwindigkeit nicht einheitlich. Tendenziell wird mit ACC langsamer gefahren und Geschwindigkeitsübertretungen nehmen ab. Allerdings gab es auch einen Hinweis, dass die Geschwindigkeit nicht adäquat an die Umgebung angepasst wird (BULD & KRÜGER, 2002). Im Hin-

blick auf den Abstand weist eine ganze Reihe von Studien im Simulator nach, dass Fahrer mit ACC geringere Abstände fahren als ohne System. Nur die Studie der NHTSA im Realverkehr zeigt einen gegenteiligen Effekt, wobei dieses Ergebnis aufgrund des Fehlens einer Kontrollgruppe problematisch erscheint. Schließlich finden sich in 5 Studien

schlechtere Reaktionen zum Beispiel auf ein plötzliches Bremsen des Vordermanns oder ein Hindernis. Zwei weitere Studien zeigen eher verbesserte Reaktionen und eine letzte eine weniger aggressive Fahrweise. Insgesamt begünstigt das ACC damit eine etwas langsamere Fahrweise, allerdings mit geringeren Abständen, wobei es deutli-

Autor/Jahr	Methode	System	Geschwindigkeit	Abstand	Querführung	Anderes Verhalten	Kommentar	Gesamtbewertung
Normales Fahren								
ABENDROTH (2001)	Feldstudie/ 29	ACC	+	-				0
FANCHER et al. (1998)	Feldstudie/ 108	ACC				+	Weniger Fahrer mit aggressivem, drängelndem Fahrstil	+
		Tempomat					Keine deutlichen Veränderungen	0
SAYER et al. (2005)	Feldstudie/ 66	ACC				0	Mehr Nebentätigkeiten, allerdings Erklären des Systems	0
NHTSA (2005)	Feldstudie/ 96	ACC		+		+	Eher schnellere Reaktionszeiten	0
		Tempomat					Keine Effekte	0
NIRSCHL & KOPF (1997)	Realfahrt/ 13	ACC				0	Notwendige Eingriffe werden schnell beherrscht	0
RUDIN-BROWN & PARKER (2004)	Realfahrt/ 18	ACC				-	Reaktionszeit schlechter, wenn gleichzeitig Nebenaufgabe	-
BULD & KRÜGER (2002)	Simulatorstudie/ 24	ACC			-	-	Situationsbewusstsein reduziert	-
HOEDEMAEKER et al. (1998)	Simulatorstudie/ 38	ACC	-	-	-			-
CHO et al. (2006)	Simulatorstudie/ 40	ACC		-	-			-
STANTON & YOUNG (2000)	Simulatorstudie/ 14	ACC			0			0
	Simulatorstudie/ 12					+	Bessere Reaktion bei plötzlichem Bremsen	+
STANTON & YOUNG (2000, 2005)	Simulatorstudie/ 110	ACC				-	Verringertes Situationsbewusstsein	-
NILSSON (1995)	Simulatorstudie/ 20	ACC				-	Mehr links fahren, deskriptiv mehr Unfälle	-
TÖRNROS et al. (2002)	Simulatorstudie/ 24	ACC	+					+
	Simulatorstudie/ 8		+	-				0
AUCKLAND et al. (2008)	Simulatorstudie/ 10	ACC				+/-	Längere TTC bei Bremsen, kürzer bei Einscheren	0
Fehlfunktionen								
BULD & KRÜGER (2002)	Simulatorstudie/ 6	ACC			-			-
YOUNG & STANTON (2007)	Simulatorstudie/ 44	ACC				-	Bremszeit bei Systemaufall verlängert	-

Tab. 1: Überblick über die Verhaltenswirkungen von ACC und Tempomat. Für die Studien, die Fahrerverhalten untersuchten, sind die wesentlichen Ergebnisse im Hinblick auf Geschwindigkeit, Abstand, Querführung und andere Verhaltensweisen bewertend dargestellt. „+“ entspricht einer Verbesserung im Sinne einer höheren Sicherheit mit System (ACC oder Tempomat), „-“ entsprechend einer Verschlechterung

che Hinweise gibt, dass durch die höhere Automatisierung Reize, die für die Geschwindigkeitsregulation wichtig sind, nicht mehr so gut verarbeitet werden.

Im Bereich der Querführung zeigen einige Studien, dass sich mit ACC die Standardabweichung der Querabweichung erhöht. Die Entlastung durch ACC wird nicht für eine verbesserte Spurführung genutzt, sondern führt wohl eher zu einer Abwendung der Aufmerksamkeit von der Fahraufgabe. Schließlich führt ACC auch dazu, dass die Fahrer auf der Autobahn länger auf der linken Spur bleiben.

Insgesamt liegen damit einige Hinweise darauf vor, dass die durch ACC eingeführte Automatisierung eines Teils der primären Fahraufgabe zwar den Fahrer entlastet, aber doch auch dazu führt, dass keine vergleichbar gute Repräsentation der Umgebung aufgebaut wird wie bei Fahrten ohne System. Damit werden auch kritische Situationen vermutlich später erkannt. Hinzu kommt, dass hier noch realisiert werden muss, dass das ACC-System diese Situationen nicht bewältigen wird, bevor ein Eingriff des Fahrers stattfindet. Dies führt insbesondere bei Systemen mit hoher Zuverlässigkeit zu verzögerten Reaktionen des Fahrers. Folgt man dieser Interpretation, müssten folgende Verhaltenswirkungen nachzuweisen sein:

- Er ergibt sich eine schlechtere Situationsrepräsentation insbesondere in Bezug auf Reize, die für die Geschwindigkeitsregulation wichtig sind (z. B. Geschwindigkeitsbegrenzungen, Streckenmerkmale wie scharfe Kurven, schlechte Sicht usw.). Diese führt dazu, dass entsprechende Geschwindigkeitsanpassungen mit ACC später und/oder schlechter durchgeführt werden.
- Es ergeben sich zusätzliche Anforderungen an die Handlungsplanung. Dabei geht es um die Abschätzung, ob bzw. wie das ACC-System die Situation bewältigt und ob die Situation kritisch ist und einen eigenen Eingriff erfordert. Dies müsste dazu führen, dass gerade in Grenzbereichen, die das ACC-System eben nicht bewältigen kann, deutliche Verzögerungen der Fahrerreaktion auftreten, die zu kritischen Situationen oder Unfällen führen können.

Für den Tempomat liegen keine entsprechenden Simulatorstudien vor. In beiden vorliegenden Feldstudien zeigten sich keine Hinweise, dass sich mit Tempomat das Fahrverhalten verändert. Allerdings

sind diese Studien problematisch hinsichtlich der Kontrollbedingungen ohne System, die nicht unbedingt direkt vergleichbar sind. Weiter können wesentliche Effekte aufgrund der höheren Störvarianz der Feldstudien nicht sichtbar werden. Entsprechende Simulatorstudien mit systematisch manipulierten Situationen und Kontrollbedingungen fehlen.

Da der Tempomat nicht den Abstand reguliert, ist er im Vergleich zu ACC als System mit geringerem Automatisierungsgrad einzustufen. Entsprechend geringer sollten die Effekte im Hinblick auf die Situationsrepräsentation und Aufmerksamkeit sein, wenn man der Interpretation der Studie von BULD und KRÜGER folgt. Die Fahrer müssen bei Fahrten mit Tempomat immer dann eingreifen, wenn Fahrzeuge oder Hindernisse auftauchen, sodass bei diesen Situationen negative Verhaltensänderungen eher nicht zu erwarten sein werden. Da die Geschwindigkeitsregulation bei freier Straße vom Tempomat übernommen wird, könnte man allerdings vermuten, dass weitere situative Reize (Schilder, Kurven, schlechte Sicht) mit Tempomat schlechter erkannt und repräsentiert werden und damit die Fahrer in diesen Situationen später reagieren.

Möglich wäre auch, dass Fahrer ähnlich wie bei ACC ihre Trajektorienplanung verändern und z. B. ebenfalls länger auf der linken Spur bleiben, um manuelle Eingriffe zu vermeiden, oder dass aus denselben Gründen dichter aufgefahren wird. Dies könnte dann z. B. bei plötzlichen Bremsvorgängen des Vorderfahrzeugs zu schlechteren Reaktionen führen.

Damit liefern die Literaturergebnisse einerseits eine Reihe von Hinweisen darauf, dass auch der Tempomat zu Verhaltensänderungen führen könnte, die relevant für die Verkehrssicherheit sind. Es fehlen allerdings Studien, die dies im Simulator oder bei Realfahrten belegen. Aufgrund der dargestellten Überlegungen ist damit der Schwerpunkt der eigenen Untersuchungen auf Situationen zu legen, in denen Geschwindigkeitsregulation aufgrund situativer Randbedingungen notwendig ist.

4 Hypothesen und Methode

Die dargestellten Studien zur Wirkung von ACC zeigen, dass dieses System entlastet, was in zweierlei Hinsicht negative Konsequenzen haben kann: (1)

Die Fahrer sind weniger stark in die Fahraufgabe eingebunden und reagieren daher auf relevante Reize in der Umgebung schlechter. Dies betrifft insbesondere Reize, die eine Anpassung der Geschwindigkeit verlangen. (2) Der Fahrer nutzt die frei werdenden Ressourcen, um sich anderen Tätigkeiten zuzuwenden. Hinzu kommt, (3) dass möglicherweise das Fahrverhalten verändert wird, um ein Abschalten des Systems zu verhindern. Diese Wirkungen können auch für Fahrten mit dem Tempomat vermutet werden. Insbesondere die erste Wirkung ist vermutlich geringer ausgeprägt, da der Tempomat die Reaktion auf andere Verkehrsteilnehmer und die Regulation des Abstands nicht übernimmt. Insofern könnte auch die entlastende Wirkung geringer sein, sodass die Zuwendung zu Nebentätigkeiten nicht in dem Ausmaß geschehen könnte, wie es bei ACC der Fall ist. Die Veränderung des Fahrverhaltens könnte dagegen noch stärker ausfallen, da der Tempomat andere Fahrzeuge nicht berücksichtigt.

Aufgrund dieser Überlegungen wurde eine Studie in dem Fahr Simulator des DLR geplant, wobei gezielt Situationen hergestellt wurden, in denen diese möglichen Wirkungen auftreten könnten. Die Simulation wurde gewählt, um eine bessere Kontrolle über die Umgebung und den Verkehr zu haben. Die Studie wurde im dynamischen Simulator des DLR durchgeführt, da gerade bei der Längsführung und Assistenzsystemen zur Unterstützung der Längsführung die Wahrnehmung von Beschleunigungen und Verzögerungen ganz wesentlich ist. Der Versuchsaufbau und die verschiedenen Szenarien werden im folgenden Kapitel dargestellt.

4.1 Versuchsplan und Probanden

Um die Veränderungen des Fahrverhaltens durch den Tempomaten zu untersuchen, sollte jeder Fahrer eine Fahrt mit Tempomat und eine zweite Kontrollfahrt ohne Tempomat durchführen. Zusätzlich wurde eine dritte Fahrt mit ACC eingeführt, um damit die in der Literatur beschriebenen Effekte zu bestätigen, näher zu untersuchen und so einen Vergleich zu möglichen Effekten des Tempomaten zu erreichen. Da große individuelle Unterschiede im Fahrverhalten zu erwarten waren, wurde ein Versuchsplan mit Messwiederholung gewählt, d. h., jeder Fahrer führte alle drei Fahrten (ohne, mit Tempomat, mit ACC) durch. Um Zeiteffekte zu kontrollieren, wurde die Reihenfolge dieser drei Fahrten balanciert.

Um abzuschätzen, welche Rolle längerfristige Lerneffekte spielen, wurde eine Gruppe von Tempomatenfahrern rekrutiert und mit Fahrern verglichen, die keine Erfahrung mit dem Tempomaten haben. Die Probanden wurden aus dem DLR-Testfahrerpool ausgewählt, der mittlerweile 850 Fahrerinnen und Fahrer aller Altersgruppen umfasst. Ausgesucht wurden Männer und Frauen mit möglichst hoher jährlicher Fahrleistung, um damit typische Tempomat-Nutzer zu erfassen (s. o.). Ausgewählt wurden je 11 Tempomat-Nutzer und 11 vergleichbare Fahrer, die normalerweise nicht mit Tempomat fahren.

Bei der Auswahl der Probanden wurde darauf geachtet, möglichst Versuchspersonen zu finden, die bereits Erfahrung mit dem Simulator hatten und somit bereits an das Fahren im Simulator gewöhnt waren. Da die vorliegenden Fahrten einen hohen Zeitaufwand erforderten, wurde mit der Auswahl von Simulator-Experten die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Simulatorkrankheit minimiert.

Sieben Versuchspersonen mit Tempomat-Erfahrung, die neu gewonnen wurden, wurden mit einer im DLR entwickelten Trainingsprozedur an das Fahren im Simulator herangeführt. Das Training bestand aus drei Strecken.

Fahrt 1 stellte eine Strecke durch eine Ortschaft mit anschließender kurviger Landstraße dar, die dazu diente, die Testfahrer mit dem Simulator vertraut zu machen. In Fahrt 2 wurden Bremsen und Beschleunigen geübt. Die Versuchspersonen mussten hierbei auf eine bestimmte Geschwindigkeit beschleunigen und dann an einer durch Stoppzeichen markierten Haltelinie entweder durch eine langsame Bremsung oder durch eine Vollbremsung zum Stehen kommen. Die vorgegebene Geschwindigkeit wurde nach zwei Bremsungen erhöht.

Anschließend wurde bei der Fahrt 3 mehrmals hintereinander das Auffahren auf die Autobahn geübt, da dieses Manöver Bestandteil der Versuchsfahrten ist und von den Probanden problemlos durchgeführt werden musste. Wurden alle drei Strecken ohne Fahrfehler und Anzeichen von Simulatorkrankheit bewältigt, konnten die Probanden zum Versuch eingeladen werden.

Die Testfahrergruppe ohne Tempomat-Erfahrung bestand aus sechs Frauen und fünf Männern mit einem Altersmittelwert von 39 Jahren (Standardabweichung 10.3), bei den erfahrenen Fahrern (vier Frauen, sieben Männer) lag der Altersdurchschnitt

bei 36 Jahren (Standardabweichung 11.3). Legt man eine durchschnittliche Fahrleistung von 12.000 km/Jahr zugrunde, lagen in der ersten Gruppe sechs Fahrer unter diesem Wert und fünf Fahrer darüber, bei den Tempomat-erfahrenen Fahrern betrug das Verhältnis drei zu elf Fahrer.

4.2 Strecken und Szenarien

Der überwiegende Anwendungsbereich des Tempomaten ist auf Autobahnen und Landstraßen, bei denen längere Zeiten mit konstanter Geschwindigkeit gefahren werden kann. Um zumindest den mittelfristigen Umgang mit dem Tempomat zu untersuchen, wurden drei Strecken gestaltet, die jeweils in der Reihenfolge „Autobahn 1 – Landstraße – Autobahn 2“ gefahren wurden. Der Vergleich von Autobahn 1 und Autobahn 2 ermöglicht es zu untersuchen, ob im Rahmen des Versuchs Lerneffekte im Umgang mit dem System auftreten. In jeder der Strecken wurden unterschiedliche Reize in der Umgebung eingeführt, mit deren Hilfe man prüfen kann, ob diese noch wahrgenommen werden und ob auf diese adäquat reagiert wird. Zusätzlich wurden auf der zweiten Autobahnstrecke zwei Phasen mit Nebenaufgaben eingeführt, um zu beobachten, inwieweit diese Gelegenheit von den Probanden genutzt wird.

4.2.1 Erster Autobahnabschnitt

Die erste Autobahnstrecke mit einer Gesamtlänge von etwa 86 km bestand aus Geraden und Kurven mit geringem Radius. Sie wurde in verschiedene Teilabschnitte unterteilt, die sich in folgenden Merkmalen unterschieden:

- Geschwindigkeitsbegrenzung 100 km/h,
- Geschwindigkeitsbegrenzung 120 km/h,
- Freie Fahrt ohne Geschwindigkeitsbegrenzung,
- Stau.

Die Länge der einzelnen Teilabschnitte lag zwischen drei und zehn Kilometern. Einer der Teilabschnitte war zweispurig, alle anderen dreispurig. Als eine für den Fahrer kritische Situation gegen Ende der Fahrt wurde ein Stauszenario ausgewählt (Bild 8). Dort verdichtete sich der Verkehr relativ plötzlich und kam zum Stehen.

Durch diese Variation kann geprüft werden, inwieweit der Fahrer seine Geschwindigkeit an die Be-



Bild 8: Sicht des Staus gegen Ende des ersten Autobahn-szenarios

grenzungen anpasst und inwieweit er bei einem plötzlichen Stau noch mit einer entsprechenden Bremsung reagieren kann. Bei der niedrigen bis mittleren Verkehrsdichte können einerseits längere Strecken mit Tempomat gefahren werden, andererseits sind immer wieder Eingriffe notwendig, wenn langsame Fahrzeuge auftauchen. Hier kann geprüft werden, inwieweit auf diese reagiert wird und ob das Fahrverhalten angepasst wird, um nicht reagieren zu müssen.

4.2.2 Landstraße

Der etwa 80 Kilometer lange Landstraßenabschnitt bestand ebenfalls aus Geraden und Kurven, wobei die Kurven in diesem Abschnitt einen engeren Radius besaßen als die Kurven in den Autobahnabschnitten. Der Gegenverkehr war unterschiedlich stark, um einerseits die Anforderung an die Spurhaltung hoch zu halten, andererseits auch Gelegenheit zum Überholen langsamer Fahrzeuge zu geben. Es werden folgende Situationen unterschieden:

- Landstraßenfahrt mit 100 km/h ohne Führungsfahrzeug,
- Folgefahrt auf Landstraße mit Überholverbot,
- Folgefahrt mit langsamen Führungsfahrzeugen und Möglichkeiten zum Überholen,
- zwei Kurven mit Anpassungen der Geschwindigkeit auf 70 km/h,
- eine Kurve mit Anpassung der Geschwindigkeit auf 80 km/h,
- sich schrittweise aufbauender Nebel.

Diese Nebelbank wurde als kritisches Szenario am Ende der Landstraßenfahrt eingeführt. Sie baute



Bild 9: Fahrersicht auf die Nebelbank am Ende des Landstraßenabschnittes

sich schrittweise auf und man musste die Geschwindigkeit stark reduzieren, um sicher dort hindurch zu fahren. Bild 9 stellt die Szenerie kurz nach Beginn der Nebelbank dar.

4.2.3 Zweiter Autobahnabschnitt

Der zweite Autobahnabschnitt wurde ähnlich aufgebaut wie der erste Abschnitt, sodass ein zeitlicher Vergleich im Hinblick auf Lern- oder Gewöhnungseffekte durchgeführt werden kann. Auch hier gab es folgende Abschnitte:

- Geschwindigkeitsbegrenzung 100 km/h,
- Geschwindigkeitsbegrenzung 120 km/h,
- freie Fahrt ohne Geschwindigkeitsbegrenzung.

Zusätzlich wurden zwei Abschnitte mit Nebenaufgaben eingeführt:

- freie Fahrt mit Nebenaufgabe mit niedriger Verkehrsdichte,
- freie Fahrt mit Nebenaufgabe mit mittlerer Verkehrsdichte.

Als Nebenaufgabe wurde eine visuelle Suchaufgabe, die Surrogate Reference Task (SURT, siehe Bild 10) gewählt. Den Probanden werden auf einem Display, das in zwei Bereiche unterteilt ist, Kreise präsentiert. Die Aufgabe der Probanden besteht darin, den Kreis zu identifizieren, der einen größeren Radius besitzt als die übrigen Kreise. Sie müssen dann angeben, in welchem der beiden Bereiche sich dieser befindet. Die Kreise wurden auf einem Touch-Screen im Bereich der Mittelkonsole des Fahrzeuges dargestellt, sodass die Probanden

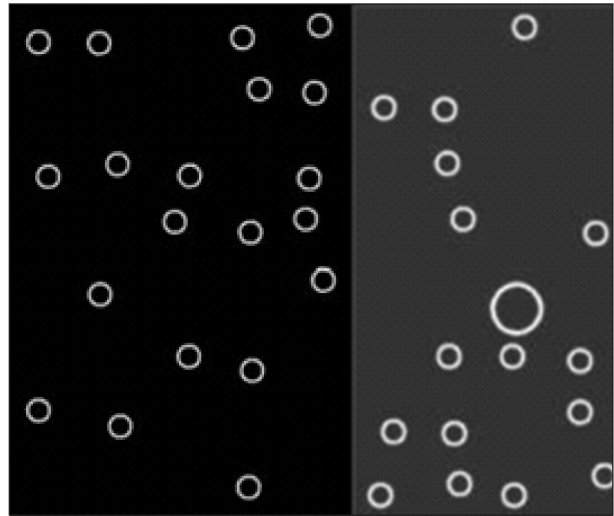


Bild 10: Der Bildschirm bei der Surrogate Reference Task (SURT) mit mittlerer Schwierigkeitsstufe

durch Antippen des Bereichs ihre Antwort abgeben konnten. Diese Aufgabe wird zur Bewertung der Stärke der Ablenkungswirkung standardisiert eingesetzt. Nach entsprechenden Untersuchungen (MATTEs, 2003) hat diese Aufgabe ein mittleres Schwierigkeitsniveau.

4.3 Assistenzsysteme

Tempomat und ACC wurden mit den Lenkradtasten des Simulatorfahrzeuges (VW Golf) bedient. Die Systeme mussten im Simulator neu implementiert werden, um sie mit den Szenarien und der Messdatenerfassung integrieren zu können. Diese wurden an die Funktionalitäten realer Systeme angelehnt. Es wurde darauf verzichtet, ein existierendes System 1:1 zu simulieren. Vielmehr wurden die wesentlichen Grundfunktionen generisch dargestellt.

Bild 11 zeigt Lenkrad und Anzeigen für Tempomat und ACC im Simulator. Tabelle 2 zeigt die verschiedenen Aktionen beim Tempomat und ACC (linke Spalte) und wie diese umgesetzt wurden (rechte Spalte). Diese Beschreibung wurde den Versuchspersonen als Kurzanleitung präsentiert und für beide Systeme verwendet, da sie sowohl die Funktion von Tempomat als auch von ACC umfasst. Mit einer Lenkradtaste auf der linken Seite konnten die Versuchspersonen die aktuelle Geschwindigkeit einstellen („set“). Mit der Taste „stdby“ (standby) oder indem man bremst wurden beide Systeme deaktiviert. Mit der linken Taste „res“ (resume) wurde die zuletzt aktivierte Geschwindigkeit nach einer Unterbrechung wieder aufgenommen. Mit den Lenkradtasten auf der rechten Seite („+“, „-“) konn-

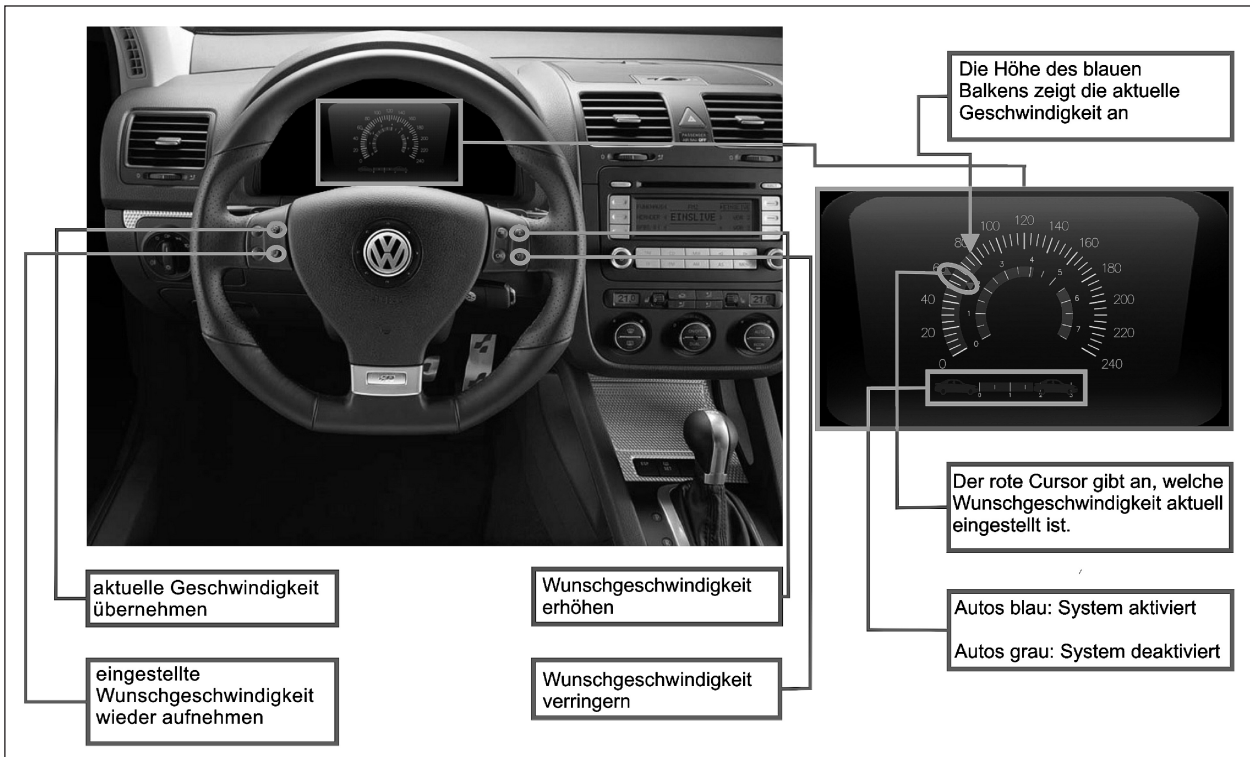


Bild 11: Human-Machine-Interface (HMI) zur Realisierung von Tempomat und ACC

Status	Realisierung und Darstellung HMI
System aktivieren und die aktuelle Geschwindigkeit übernehmen	<ul style="list-style-type: none"> - Fahrer drückt die Taste „set“ („aktuelle Geschwindigkeit übernehmen“), - Cursor auf der HMI-Anzeige bewegt sich bis zur aktuell angewählten Geschwindigkeit - Fahrzeuge auf HMI-Anzeige blau
System deaktivieren	<ul style="list-style-type: none"> - Fahrer bremst oder betätigt die Taste „stdby“ - Fahrzeuge auf HMI-Anzeige ausgegraut
Zuletzt eingestellte Geschwindigkeit übernehmen (nach Deaktivierung durch Bremsen)	<ul style="list-style-type: none"> - Fahrer drückt die Taste „res“ (eingestellte Wunschgeschwindigkeit wieder aufnehmen“) - Cursor auf der HMI-Anzeige bewegt sich bis zur zuletzt eingestellten Geschwindigkeit - System beschleunigt automatisch - Fahrzeuge auf der HMI-Anzeige blau
System übersteuern	<ul style="list-style-type: none"> - Fahrer gibt manuell Gas über Pfeiltasten rechts vom Lenkrad (+) oder verzögert (-) - Cursor bleibt auf der zuletzt eingestellten Wunschgeschwindigkeit stehen - System beschleunigt bzw. verzögert

Tab. 2: Umsetzung der Systemzustände des Tempomaten

ten die Probanden die Geschwindigkeitseinstellung der Systeme regulieren, also diese entweder erhöhen oder verringern.

Diese Bedienung gilt für beide Systeme. Bei handelsüblichen Systemen kann beim ACC noch ein Wunschabstand eingestellt werden. Um die Bedienung beider Systeme vergleichbar zu halten, wurde auf diese Funktionalität verzichtet. Fest eingestellt wurde ein typischer mittlerer Sekundenabstand von 1.5 Sekunden.

4.4 Dynamischer Fahrsimulator

Die Versuche fanden im dynamischen Simulator des DLR statt, der in Bild 12 dargestellt ist (zu den technischen Daten, siehe Tabelle 3). Das Bewegungssystem des Fahrsimulators zeichnet sich durch den weltweit erstmaligen Einsatz eines Hexapod-Systems aus, bei dem die Kabine unterhalb der oberen Gelenke eingehängt ist (siehe Bild 12). Diese neuartige Konstruktion ermöglicht große lineare Bewegungen von etwa drei Metern trotz ge-

	Weg	Geschwindigkeit	Beschleunigung
Längs	±1,5 m	±2 m/s	±10 m/s ²
Quer	±1,4 m	±2 m/s	±10 m/s ²
Vertikal	±1,4 m	±2 m/s	±10 m/s ²
Rollen	-20°/+21°	±50°/s	±250°/s ²
Nicken	±21°	±50°/s	±250°/s ²
Gieren	±21°	±50°/s	±250°/s ²

Tab. 3: Technische Daten des dynamischen Fahrsimulators (SIMCAR)



Bild 12: Dynamischer Fahrsimulator des DLR

ringer Bauhöhe. Zudem sind in diesem System alle Freiheitsgrade unabhängig voneinander steuerbar. Der Simulator zählt mit seiner Nutzlast von ca. 1.3 Tonnen und den oben aufgeführten Daten zu den leistungsfähigsten Fahrsimulatoren Europas.

Ein hochwertiges Projektionssystem sorgt für die Visualisierung von Umwelt und Verkehrsgeschehen. Ein großes Blickfeld nach vorne und zu den Seiten (270° x 40°), verbunden mit einer hohen Auflösung von insgesamt etwa 9200 x 1280 Pixeln, ermöglicht eine detailreiche Darstellung. Neben dem Blickfeld nach vorne kann der Proband auch das simulierte Verkehrsgeschehen hinter sich über den Rückspiegel auf einem Bildschirm sowie über LCD-Displays in den Seitenspiegeln beobachten.

Für den realistischen Gesamteindruck ist die unmittelbare Umgebung des Fahrers von großer Bedeutung. Daher wurde ein komplettes Fahrzeug in die Kabine integriert, mit dem der Proband den Simulator „fährt“. Die Aktionen des Fahrers werden über CAN-Bus an die Simulationsrechner übermittelt. Umgekehrt steuert das Simulationssystem die Instrumente im Cockpit, die dem Fahrer z. B. Auskunft über seine Geschwindigkeit geben. Alle vom Fahrer gemachten Eingaben und Aktionen, vom Bremsen über das Lenken bis hin zum Bedienen des Autoradios, können aufgezeichnet und ausge-

wertet werden. Ein Surround-Soundsystem gibt die Umgebungs- und Fahrzeuggeräusche über die eingebauten Lautsprecher wieder.

4.5 Daten

Im Fahrsimulator werden das Verhalten der Fahrer und die Reaktionen des Fahrzeugs gemessen. Wesentliche Messgrößen für die Längsregelung sind die aktuelle Geschwindigkeit (Mittelwert, Standardabweichung und Maximum) und der Abstand zu voranfahrenden Fahrzeugen (Time Headway, THW: Sekundenabstand; Time to Collision, TTC: Zeit bis zu einer Kollision in Sekunden, wenn beide Fahrzeuge ihre aktuelle Geschwindigkeit beibehalten würden). In Bezug auf die Querregelung werden der Lenkwinkel (Standardabweichung) und die Position auf der Fahrspur (Standardabweichung der Querablage, SDLP) erfasst. Weiter wird gemessen, wie lange der Fahrer benötigt, um auf Reize der Umwelt zu reagieren (Anpassung an eine Geschwindigkeitsbegrenzung nach einem Verkehrszeichen, bei Nebel, bei Stau). Schließlich wird die Anzahl der bearbeiteten Nebenaufgaben und der dabei aufgetretenen Fehler erfasst. Um die Beanspruchung der Fahrer zu messen, wurden physiologische Daten erhoben. Von diesen wird die Herzrate ausgewertet (Mittelwert und Standardabweichung).

Die subjektive Bewertung der Probanden wurde zu unterschiedlichen Zeitpunkten erhoben (siehe Tabelle 4). Beim ersten Versuchstermin erhielten die Probanden nach einer allgemeinen Einführung in den Versuch einen Fragebogen, in dem die Kenntnis von und Einstellung zu neuen Assistenzsystemen erhoben wurden. Die Probanden fuhren dann die oben dargestellten drei Strecken. Nach jeder dieser Strecke sollten die Probanden die Fahrt auf einem Kurzfragebogen bewerten. Diese Bewertung bezog sich unter anderem auf die erlebte Anstrengung, eine eigene Risikoeinschätzung durch die Probanden und die gefühlte Sicherheit. Außerdem wurde nach jeder Fahrt die aktuelle Müdigkeit auf einer Skala von 1-10 eingeschätzt (1: sehr müde, 10: sehr wach), um die Auswirkungen der Assistenzsysteme auf die Vigilanz der Versuchspersonen zu kontrollieren.

Am Ende der Fahrt mit Tempomat bzw. ACC erfolgte eine ausführliche Bewertung des Systems hinsichtlich der Akzeptanz und der Nützlichkeit. Nach der dritten und letzten Fahrt wurden die Versuchspersonen um einen abschließenden Vergleich aller drei Systeme gebeten.

Fragebogen	Zeitpunkt	Erfasste Aspekte
Fahrverhalten und Nutzung von ACC und Tempomat	Vor dem Versuch	Anteile Fahrten auf Autobahn und Landstraße, Bekanntheit und Nutzung verschiedener FAS
Kurzfragebogen	Nach jeder Strecke	Fahrverhalten und Beanspruchung
Vigilanz	Nach jeder Strecke	Subjektive Müdigkeit (1: sehr müde, 10: sehr wach)
Fragebogen Gesamtbewertung	Nach der Fahrt mit ACC bzw. Tempomat	Aspekte der Akzeptanz und Nutzerzufriedenheit
Abschlussbewertung	Am Ende des Versuches	Abschlussbewertung aller Fahrten (Rangreihe)

Tab. 4: Übersicht über die verwendeten Fragebögen

4.6 Versuchsdurchführung

Nach der Begrüßung der Probanden und Vorlage einer allgemeinen Instruktion und des ersten Fragebogens wurde den Probanden das Physiomeßgerät angelegt und sie zu einer ersten Probefahrt in den Simulator gebeten. Damit sollte sichergestellt werden, dass sich alle Probanden wieder an den Umgang mit dem Simulatorfahrzeug gewöhnen bzw. sich auf das Bewegungsverhalten des Simulators einstellen konnten. Außerdem wurde eine Ausgangsmessung mit dem Physiomeßgerät vorgenommen.

Anschließend bekamen die Probanden eine Kurzanleitung und die in Bild 11 dargestellte Abbildung vorgelegt mit der Aufforderung, sich mit der Funktionalität des Systems vertraut zu machen. Im Simulatorfahrzeug wurde zusammen mit dem Versuchsleiter noch einmal die Systemfunktionalität erläutert und bestehende Fragen durch den Versuchsleiter beantwortet.

Daraufhin erfolgte ein Testdurchgang, in dem die Bedienung des Assistenzsystems geprobt wurde, wobei die Versuchspersonen dem Versuchsleiter mitteilen sollten, wenn aus ihrer Sicht ein ausreichendes Systemverständnis vorlag. Zur Überprüfung wurden vom Versuchsleiter einige Aufgaben vorgegeben, die die Probanden mit dem System ausführen sollen. Dazu gehörte z. B. das Einstellen des ACC auf 120 km/h oder das erneute Aktivieren des Tempomaten nach Abbremsen. Auf diese Weise konnte sichergestellt werden, dass alle Testfahrer in der Lage waren, die Systeme fehlerfrei zu bedienen. War das der Fall, wurden die Probanden aufgefordert anzuhalten und Ihnen die Nebenaufgabe präsentiert, die anschließend ebenfalls probeweise durchgeführt wurde.

Hierauf begann der eigentliche Versuchsablauf, bestehend aus den drei Teststrecken Autobahn 1,

Landstraße und Autobahn 2. Jede Fahrt wurde vorher in einer Instruktion beschrieben. Die Probanden wurden darauf hingewiesen, dass sie sich an die StVO bzw. an eventuelle Geschwindigkeitsbegrenzungen halten, ansonsten aber ihre normale Fahrweise beibehalten sollten. Es wurde ebenfalls instruiert, dass die Probanden die Systeme nutzen sollten, wann immer es möglich ist. Diese Aufforderung wurde zusätzlich unterstützt durch eine Sprachausgabe, die sich regelmäßig wiederholte und den Wortlaut hatte: „Haben Sie daran gedacht, das ACC (den Tempomat) einzuschalten?“ Diese forcierte Systemnutzung hatte den Zweck, die Systemnutzung auch in den kritischen Situationen sicherzustellen.

Die zweite Autobahnstrecke enthielt zwei Abschnitte, während derer für etwa 10 Minuten die Nebenaufgabe bearbeitet werden sollte. Die Probanden wurden zu Beginn des Versuchs darauf hingewiesen, dass sie die Nebenaufgabe bearbeiten sollten und dabei auch den Tempomat bzw. ACC einschalten sollten. Sie wurden weiter instruiert, dass das Einhalten der Straßenverkehrsordnung und damit ein sicheres Fahren Vorrang gegenüber der Nebenaufgabe hätten und sie diese nur bearbeiten sollten, wenn es die Fahraufgabe zuließ. Direkt zu Beginn des jeweiligen Streckenabschnitts wurde dann die Aufforderung zur Nebenaufgabenbearbeitung gegeben. Weiter wurde per Sprachausgabe gebeten, das System zu nutzen.

Die Probanden fuhren dann die oben dargestellten drei Strecken. Nach jeder dieser Strecke, zwischen denen eine zehnminütige Pause lag, wurde die Vigilanz der Probanden erfasst sowie der Kurzfragebogen vorgelegt.

Nach Abschluss aller drei Versuchsfahrten wurde die Gesamtbewertung des Systems vorgenommen und die Probanden nach Auszahlung der Vergütung verabschiedet.

5 Ergebnisse der Studie

5.1 Nutzung der Systeme

Bei der Auswertung der Fahrdaten zeigte sich, dass bei einem Probanden in der Bedingung ohne Systeme die Fahrdaten fehlerhaft waren. Aufgrund des abhängigen Versuchsplans musste dieser Proband bei der Auswertung ausgeschlossen werden. Damit bleiben zehn Novizen und elf Experten für die folgenden Auswertungen.

Um die Nutzung der Systeme zu untersuchen, wurde eine zweifaktorielle MANOVA mit Messwiederholung für den prozentualen Anteil der Zeit, in der die Systeme aktiv waren, in der sie ausgeschaltet wurden und in der die Geschwindigkeit geändert wurde, durchgeführt. Als erster Faktor wurde das System (Tempomat vs. ACC), als zweiter Faktor die Situation (15 Streckenabschnitte) eingeführt. Insgesamt zeigten sich ein Effekt der Situation ($F_{42,840} = 8.8$, $p = 0.000$, $\text{Eta}^2 = 0.306$), eine Tendenz für das System ($F_{3,18} = 2.8$, $p = 0.072$, $\text{Eta}^2 = 0.316$) und keine Wechselwirkung ($F_{42,840} = 1.1$, $p = 0.314$, $\text{Eta}^2 = 0.052$). Ein Haupteffekt des Systems ist für die Häufigkeit des Abschaltens zu finden ($p = 0.032$), tendenziell bei der Zeit, in der das Systems aktiv ist ($p = 0.051$) und nicht beim Einstellen ($p = 0.113$). Der Effekt der Situation findet sich univariat in jeder der drei Variablen (alle $p < 0.05$).

Bild 13 zeigt, dass beide Systeme sehr häufig aktiv waren und damit genutzt wurden. Am meisten wurden beide Systeme auf der Landstraße bei geraden Strecken und auf dem ersten Autobahnabschnitt mit Geschwindigkeitsbegrenzung genutzt. Die hohe Nutzung des Tempomaten bei der Folgefahrt kann allerdings auch mit dadurch bedingt sein, dass das Führungsfahrzeug relativ gleichmäßig fuhr. Bei der zweiten Autobahnstrecke ist die Nutzungshäufigkeit etwas geringer, liegt aber immer noch knapp unter 90 %. Hier wird auch deutlich, dass ACC häufiger genutzt wird als der Tempomat. Bei den beiden Kurven und im Stau ist die Nutzungshäufigkeit beider Systeme dann relativ gering. Die Kurve ist für die Häufigkeit, mit der das System abgeschaltet wurde, vergleichbar und wird daher nicht extra dargestellt.

Bild 14 zeigt den Anteil der Zeit, in der die Geschwindigkeit des Systems geändert wurde. Die Unterschiede zwischen den Systemen sind nicht stark ausgeprägt. Die Geschwindigkeit des ACC wird beim ersten Autobahnabschnitt mit der Ge-

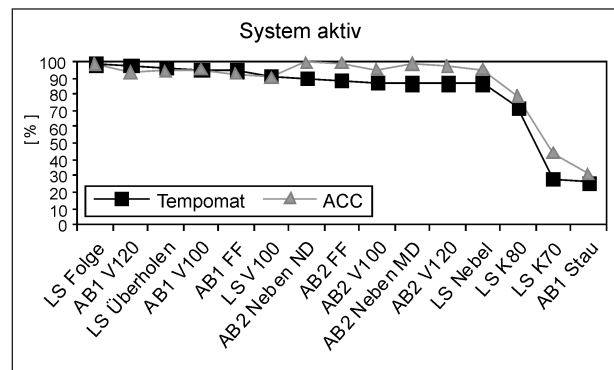


Bild 13: Anteil der Zeit, in der Tempomat oder ACC aktiv waren, getrennt nach der Situation (AB1: erste Autobahn, LS: Landstraße, AB2: zweiter Autobahnabschnitt)

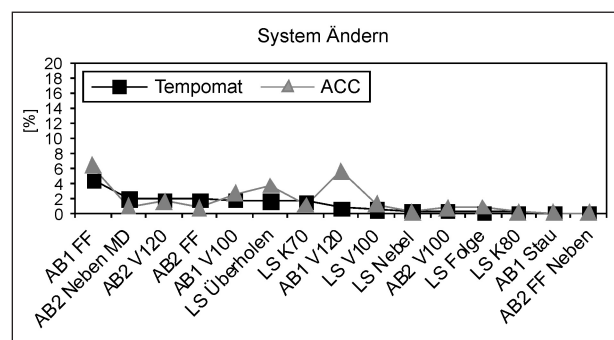


Bild 14: Anteil der Zeit, bei der die Geschwindigkeit bei den Systemen geändert wurden, im Vergleich von Tempomat und ACC

schwindigkeitsbegrenzung 120 km/h etwas häufiger geändert, was das anfängliche Zurechtkommen mit dem System widerspiegeln mag. Die Geschwindigkeit wird bei beiden Systemen auf dem ersten Autobahnabschnitt ohne Geschwindigkeitsbegrenzung häufiger geändert. Beim zweiten Autobahnabschnitt findet dies schon recht selten statt. Auch hier ist vermutlich ein Gewöhnungseffekt verantwortlich.

Für die Systemnutzung lässt sich damit zusammenfassen:

- Tempomat und ACC werden in der Studie sehr häufig genutzt. Die Nutzung liegt in der Regel über 90 % der Fahrtzeit. Die einzigen Ausnahmen sind der Stau und Kurven mit Geschwindigkeitsbegrenzungen auf der Landstraße.
- ACC wird etwas häufiger genutzt als der Tempomat, was dem erhöhten Funktionsumfang entspricht, da ACC auch Abstände regeln kann.

Vermutlich sind diese Nutzungshäufigkeiten höher, als sie es im realen Verkehr wären, insbesondere auf der Landstraße. Hier spielt die Instruktion, die Systeme möglichst häufig zu nutzen, sicherlich eine

wichtige Rolle. Andererseits war diese Instruktion eingeführt worden, da die Auswirkungen der Fahrt mit Tempomat und ACC in den unterschiedlichen Situationen untersucht werden sollten. Dies ist nach den dargestellten Nutzungshäufigkeiten sehr gut gelungen.

5.2 Fahrverhalten

Für jede der 13 Situationen in den drei Streckenabschnitte (siehe Kapitel 4.2) wurde in einem ersten Schritt eine zweifaktorielle MANOVA berechnet mit den Faktoren „Systemerfahrung“ (Experte vs. Novize mit dem Tempomat) und „System“ (ohne System, mit Tempomat, mit ACC). In nur einer dieser Analysen zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt des Faktors „Systemerfahrung“, der wiederum nur durch einen Parameter (Standardabweichung des Lenkradwinkels¹) begründet war. Außerdem ergaben sich keine signifikanten Wechselwirkungen zwischen „Systemerfahrung“ und „System“. Aus diesem Grund wurde die endgültige Analyse, die im Folgenden dargestellt wird, ohne diesen Faktor „Systemerfahrung“ durchgeführt. Auf die zwei Streckenabschnitte mit Nebenaufgaben wird in einem eigenen Abschnitt eingegangen.

Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse der MANOVAs im Überblick. In der vorletzten Spalte sind die signifikanten Analysen dunkel dargestellt. Man erkennt, dass die Fahrt in den drei Bedingungen (ohne System, mit Tempomat, mit ACC) bis auf zwei Situationen zu einem deutlich unterschiedlichen Fahrverhalten führt. Nur in der Phase des Staus ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Bedingungen.

Bei jeder der Situationen, für die sich ein signifikanter Effekt gezeigt hatte, wurde dann über univariate Tests geprüft, bei welchen Parametern sich die Unterschiede zwischen den Systemen zeigten. Bei signifikanten Unterschieden wurde dann wiederum über Post-hoc-Tests geprüft, welche der drei Bedingungen sich unterscheiden (Fahren ohne System vs. Tempomat, Fahren ohne System vs. ACC, Tempomat vs. ACC). Da die Ergebnisse pro Parameter in den verschiedenen Situationen sehr vergleichbar waren, werden diese Ergebnisse im Folgenden nach Parametern sortiert.

Situation		F	df 1	df 2	p	Eta
Autobahn 1	120 km/h	2,1	28	56	0,011	0,51
	Freie Fahrt	2,3	22	62	0,006	0,45
	100 km/h	2,7	28	56	0,001	0,57
	Stau	1,3	22	62	0,227	0,31
Landstraße	100 km/h	4,3	14	70	0,000	0,47
	Kurve 70 km/h	2,5	12	72	0,009	0,29
	Kurve 80 km/h	4,2	12	72	0,000	0,41
	Überholen	3,1	28	56	0,000	0,61
	Folgefahrt	3,9	22	62	0,000	0,58
	Nebel	3,7	14	70	0,000	0,43
Autobahn 2	120 km/h	2,4	30	54	0,003	0,57
	100 km/h	2,5	20	64	0,003	0,44
	Freie Fahrt	2,6	24	60	0,001	0,51

Tab. 5: Übersicht über die Ergebnisse der MANOVAs mit dem Faktor „System“ (ohne System, mit Tempomat, mit ACC). Da pro Situation unterschiedlich viele Parameter eingingen, unterscheiden sich die Freiheitsgrade von Zähler und Nenner des F-Werts für die Zeilen. „df 1“ bezeichnet jeweils den Freiheitsgrad des Zählers, „df 2“ den des Nenners (Fehler)

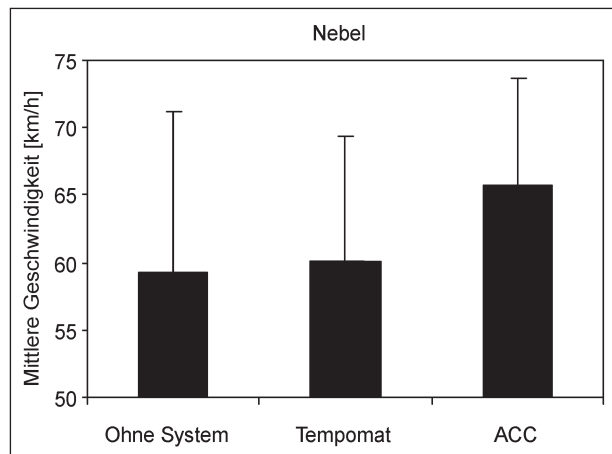


Bild 15: Mittlere Geschwindigkeit bei Nebel in den drei Bedingungen. Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung

Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse der mittleren Geschwindigkeit. Für diese ergeben sich nur in zwei Situationen signifikante Unterschiede zwischen den drei Bedingungen. Bei Nebel unterscheidet sich die Fahrt mit ACC von der Fahrt ohne System und der Fahrt mit Tempomat. Bei der zweiten Nebenaufgabenbedingung wird mit Tempomat und ACC eine andere Geschwindigkeit gefahren als ohne System (siehe Kapitel 5.3).

Die Ergebnisse sind in Bild 15 für die Situation „Nebel“ dargestellt. Die Fahrer passen ihre Geschwindigkeit an den Nebel an und fahren ohne System und mit Tempomat etwas langsamer als

¹ Bei den Experten betrug die Standardabweichung des Lenkradwinkels 7.8 im Vergleich zu 7.0 Grad

		Mittlere Geschwindigkeit	F	p	Eta		Manuell/ Tempomat	Manuell/ ACC	Tempomat/ ACC
Autobahn 1		120 km/h	2,3	0,114	0,10		0,239	0,082	0,255
		Freie Fahrt	0,6	0,562	0,03		0,298	0,501	0,817
		100 km/h	0,7	0,502	0,03		0,845	0,171	0,394
		Stau	1,7	0,202	0,08		0,812	0,037	0,147
Landstraße		100 km/h	0,2	0,795	0,01		0,699	0,577	0,707
		Kurve 70 km/h	1,5	0,244	0,07		0,101	0,132	0,973
		Kurve 80 km/h	3,0	0,061	0,13		0,952	0,084	0,055
		Überholen	1,2	0,324	0,05		0,545	0,473	0,044
		Folgefahrt	1,1	0,347	0,05		0,466	0,138	0,227
		Nebel	6,2	0,004	0,24		0,693	0,006	0,006
Autobahn 2		120 km/h	1,4	0,253	0,07		0,147	0,270	0,676
		100 km/h	2,7	0,081	0,12		0,723	0,033	0,065
		Freie Fahrt	1,6	0,212	0,07		0,114	0,410	0,306

Tab. 6: Überblick über die Ergebnisse der univariaten Varianzanalysen für die mittlere Geschwindigkeit in den verschiedenen Situationen. Getestet wurde jeweils mit (2,40) Freiheitsgraden. Die letzten drei Spalten geben die p-Werte für die paarweisen Post-hoc-Vergleiche an

		SD Geschwindigkeit	F	p	Eta		Manuell/ Tempomat	Manuell/ ACC	Tempomat/ ACC
Autobahn 1		120 km/h	6,2	0,005	0,24		0,004	0,736	0,001
		Freie Fahrt	8,5	0,001	0,30		0,002	0,790	0,003
		100 km/h	2,6	0,084	0,12		0,041	0,748	0,045
		Stau	0,3	0,729	0,02		0,775	0,614	0,510
Landstraße		100 km/h	6,4	0,004	0,24		0,002	0,007	0,704
		Kurve 70 km/h	0,0	0,998	0,00		0,987	0,963	0,948
		Kurve 80 km/h	4,4	0,019	0,18		0,017	0,186	0,058
		Überholen	2,8	0,072	0,12		0,041	0,358	0,047
		Folgefahrt	0,8	0,436	0,04		0,218	0,247	0,812
		Nebel	2,1	0,141	0,09		0,106	0,670	0,012
Autobahn 2		120 km/h	4,1	0,024	0,17		0,002	0,412	0,076
		100 km/h	1,3	0,293	0,06		0,324	0,569	0,062
		Freie Fahrt	2,6	0,083	0,12		0,257	0,028	0,278

Tab. 7: Überblick über die Ergebnisse der univariaten Varianzanalysen für die Standardabweichung der Geschwindigkeit in den verschiedenen Situationen. Getestet wurde jeweils mit (2,40) Freiheitsgraden. Die letzten drei Spalten geben die p-Werte für die paarweisen Post-hoc-Vergleiche an

60 km/h. Mit ACC wird mit höherer Geschwindigkeit gefahren (im Mittel 66 km/h).

Die Standardabweichung der Geschwindigkeit beschreibt, wie stark die gefahrene Geschwindigkeit variiert. Tabelle 7 zeigt die Ergebnisse. Hier zeigt sich eine Reihe von signifikanten Ergebnissen. Bei beiden Autobahnabschnitten gibt es einen Effekt bei 120 km/h und beim ersten Abschnitt bei freier Fahrt. Auf der Landstraße unterscheiden sich die

Bedingungen bei freier Fahrt (100 km/h) und in der Kurve mit 80 km/h.

Die Ergebnisse sind auf der Autobahn sehr vergleichbar. Wie Bild 16 zeigt, ist die Standardabweichung der Geschwindigkeit bei der Fahrt mit Tempomat auf der Autobahn geringer als ohne System oder mit ACC. Mit ACC sind die Werte dagegen vergleichbar zu Fahrten ohne System. Der Tempomat führt damit zu einer gleichmäßigeren Geschwindig-

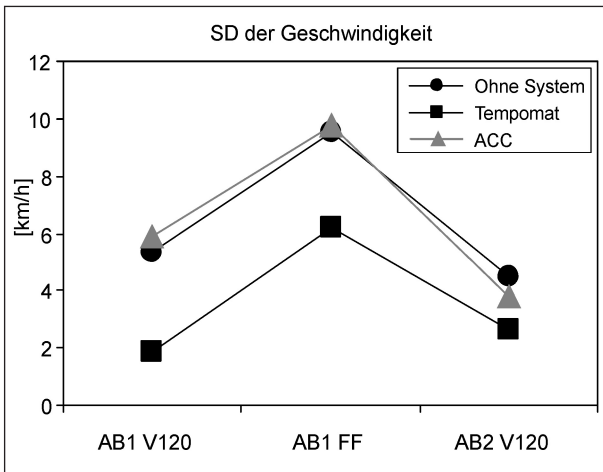


Bild 16: Standardabweichung der Geschwindigkeit bei auf den Autobahnstrecken bei Begrenzung auf 120 km/h im ersten und zweiten Abschnitt und bei freier Fahrt in den drei Bedingungen. Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung

keit im Vergleich zu Fahrten ohne System oder mit ACC. Bei Fahrten auf der Landstraße (siehe Bild 17) ist in der Kurve die Standardabweichung der Geschwindigkeit mit Tempomat erhöht gegenüber der Fahrt ohne System. In den Kurven mit 70 km/h ist allerdings kein entsprechender Unterschied zu finden. Bei der Fahrt auf der freien Landstraße mit dem üblichen Tempolimit von 100 km/h ist kein Führungsfahrzeug vorhanden, sodass das ACC vergleichbar wie ein Tempomat regelt. Entsprechend ist die Standardabweichung der Geschwindigkeit auch bei ACC ähnlich verringert wie bei Fahrten mit dem Tempomat.

Bei der maximalen Geschwindigkeit ergeben sich Unterschiede bei der ersten Situation auf der Autobahn (120 km/h) und bei den drei Situationen mit 100 km/h auf der Landstraße (freie Fahrt, Überholen, Folgefahrt). Die Ergebnisse sind in Tabelle 8 dargestellt. Dort unterscheidet sich jeweils das Fahren ohne System sowohl von den Fahrten mit Tempomat als auch mit ACC. Auf dem zweiten Autobahnabschnitt sind keine Unterschiede nachzuweisen.

Die Effekte sind in den drei Situationen sehr vergleichbar, wie Bild 18 zeigt. Mit Tempomat und ACC werden zwischen 5 und 10 km/h geringere maximale Geschwindigkeiten erreicht als bei Fahrten ohne System. Dies gilt aber nur für den ersten Autobahnabschnitt und die Fahrten auf der Landstraße.

Die minimale Geschwindigkeit wurde nur für die beiden kritischen Situationen „Stau“ und „Nebel“

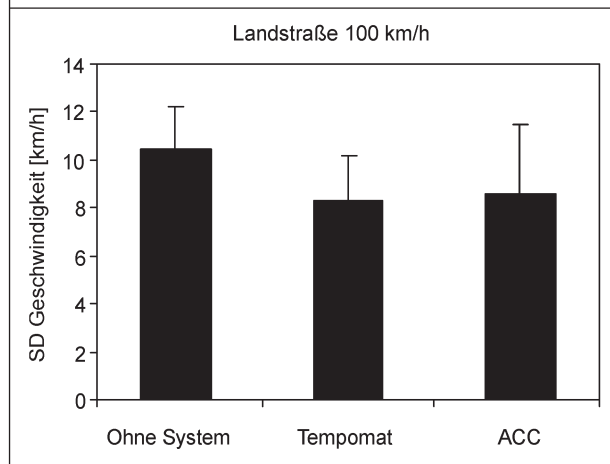
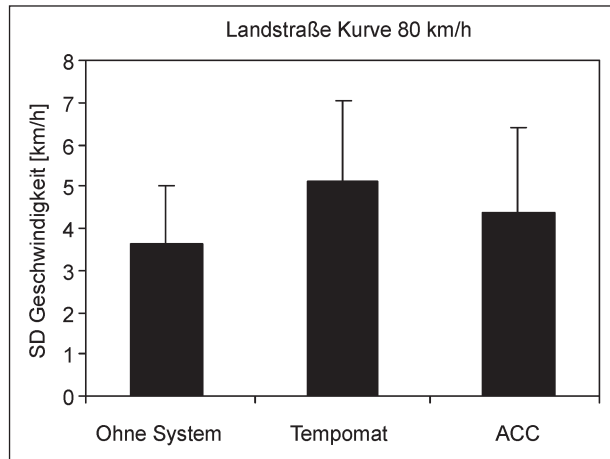


Bild 17: Standardabweichung der Geschwindigkeit bei der Kurve mit Begrenzung auf 80 km/h auf der Landstraße und auf der freien Landstraße mit der üblichen Begrenzung von 100 km/h in den drei Bedingungen. Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung

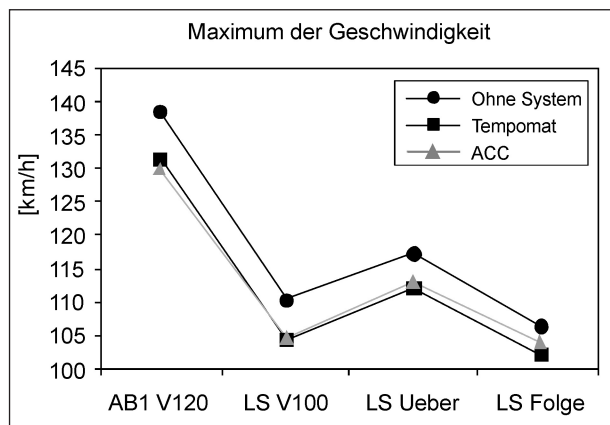


Bild 18: Maximum der Geschwindigkeit in den vier Situationen, bei denen sich Unterschiede zwischen den Bedingungen zeigten. Dargestellt sind die Mittelwerte

berechnet, da hier eine Anpassung der Geschwindigkeit nach unten als wichtig erscheint. Wie Tabelle 9 zeigt, ergibt sich im Nebel ein signifikanter Unterschied zwischen den Bedingungen, wobei sich die Fahrt mit ACC von den anderen beiden Bedin-

		Maximale Geschwindigkeit	F	p	Eta		Manuell/ Tempomat	Manuell/ ACC	Tempomat/ ACC
Autobahn 1		120 km/h	6,5	0,004	0,24		0,001	0,005	0,592
		Freie Fahrt	2,6	0,084	0,12		0,040	0,275	0,216
		100 km/h	0,4	0,706	0,02		0,383	0,446	0,993
		Stau	0,5	0,628	0,02		0,314	0,818	0,672
Landstraße		100 km/h	13,2	0,000	0,40		0,000	0,001	0,894
		Kurve 70 km/h	2,2	0,124	0,10		0,514	0,045	0,222
		Kurve 80 km/h	1,6	0,210	0,07		0,101	0,814	0,124
		Überholen	3,9	0,027	0,16		0,034	0,040	0,588
		Folgefahrt	5,3	0,009	0,21		0,001	0,070	0,270
		Nebel	1,1	0,347	0,05		0,371	0,251	0,441
Autobahn 2		120 km/h	0,6	0,539	0,03		0,475	0,368	0,566
		100 km/h	0,8	0,466	0,04		0,710	0,310	0,331
		Freie Fahrt	1,0	0,377	0,05		0,462	0,542	0,142

Tab. 8: Überblick über die Ergebnisse der univariaten Varianzanalysen für das Maximum der Geschwindigkeit in den verschiedenen Situationen. Getestet wurde jeweils mit (2,40) Freiheitsgraden. Die letzten drei Spalten geben die p-Werte für die paarweisen Post-hoc-Vergleiche an

		Minimale Geschwindigkeit	F	p	Eta		Manuell/ Tempomat	Manuell/ ACC	Tempomat/ ACC
		Stau	0,6	0,533	0,03		0,892	0,289	0,392
		Nebel	8,8	0,001	0,31		0,192	0,000	0,016

Tab. 9: Überblick über die Ergebnisse der univariaten Varianzanalysen für das Minimum der Geschwindigkeit in den verschiedenen Situationen. Getestet wurde jeweils mit (2,40) Freiheitsgraden. Die letzten drei Spalten geben die p-Werte für die paarweisen Post-hoc-Vergleiche an

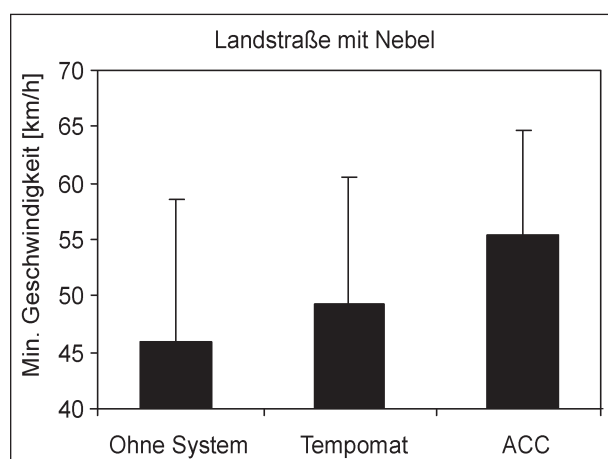


Bild 19: Minimum der Geschwindigkeit auf der Landstraße bei Nebel in den drei Bedingungen. Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung

gen unterscheidet. Mit ACC ist die minimale Geschwindigkeit bei Nebel deutlich erhöht mit 55 km/h im Vergleich zu 46 km/h bei Fahrt ohne System (siehe Bild 19).

Die Ergebnisse zum prozentualen Anteil der Fahrzeit, die schneller als die Geschwindigkeitsbegren-

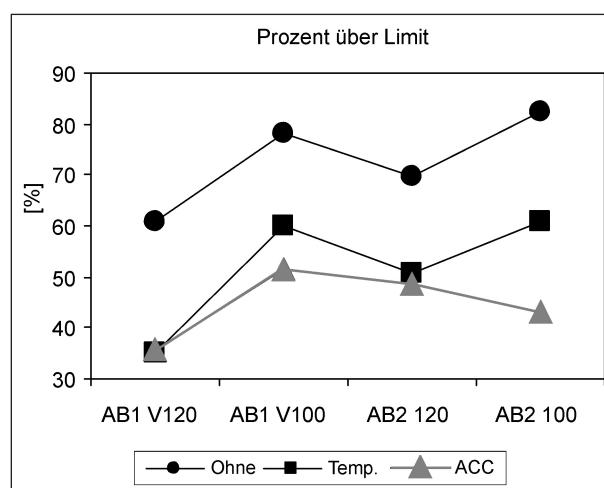


Bild 20: Prozentualer Zeitanteil über der Geschwindigkeitsbegrenzung auf der Autobahn im ersten und zweiten Abschnitt bei 120 und 100 km/h in den drei Bedingungen. Dargestellt ist der Mittelwert

zung gefahren wird, sind in Tabelle 10 dargestellt. Auf der Autobahn im ersten und zweiten Abschnitt unterscheidet sich die Fahrt mit Tempomat und ACC jeweils von der Fahrt ohne System. Die Unterschiede sind in Bild 20 dargestellt. Während bei

Prozentuale Zeit über dem Limit		F	p	Eta		Manuell/ Tempomat	Manuell/ ACC	Tempomat/ ACC
Auto- bahn 1	120 km/h	4,1	0,025	0,17		0,016	0,014	0,984
	100 km/h	7,1	0,002	0,26		0,013	0,002	0,277
Landstraße	100 km/h	1,9	0,157	0,09		0,403	0,121	0,088
	Kurve 70 km/h	3,1	0,054	0,14		0,006	0,154	0,417
	Kurve 80 km/h	2,8	0,076	0,12		0,871	0,035	0,006
	Überholen	1,9	0,157	0,09		0,876	0,153	0,069
	Folgefahrt	0,8	0,471	0,04		0,806	0,127	0,386
Auto- bahn 2	120 km/h	6,9	0,003	0,26		0,013	0,007	0,637
	100 km/h	9,9	0,000	0,33		0,029	0,000	0,051

Tab. 10: Überblick über die Ergebnisse der univariaten Varianzanalysen für den prozentualen Anteil der Fahrzeit, die schneller als die Geschwindigkeitsbegrenzung gefahren wird, in den verschiedenen Situationen. Getestet wurde jeweils mit (2,40) Freiheitsgraden. Die letzten drei Spalten geben die p-Werte für die paarweisen Post-hoc-Vergleiche an

Anzahl pro Minute über das Limit		F	p	Eta		Manuell/ Tempomat	Manuell/ ACC	Tempomat/ ACC
Auto- bahn 1	120 km/h	4,9	0,012	0,20		0,005	0,300	0,006
	100 km/h	9,8	0,000	0,33		0,000	0,203	0,000
Landstraße	100 km/h	19,8	0,000	0,50		0,001	0,000	0,016
	Kurve 70 km/h	0,5	0,638	0,02		0,487	0,908	0,417
	Kurve 80 km/h	5,9	0,006	0,23		0,834	0,011	0,006
	Überholen	7,8	0,001	0,28		0,001	0,031	0,128
	Folgefahrt	11,9	0,000	0,37		0,001	0,001	0,941
Auto- bahn 2	120 km/h	7,2	0,002	0,27		0,007	0,017	0,195
	100 km/h	9,7	0,000	0,33		0,002	0,013	0,044

Tab. 11: Überblick über die Ergebnisse der univariaten Varianzanalysen für die Häufigkeit der Geschwindigkeitsüberschreitungen (Anzahl pro Minute der Fahrzeit) in den verschiedenen Situationen. Getestet wurde jeweils mit (2,40) Freiheitsgraden. Die letzten drei Spalten geben die p-Werte für die paarweisen Post-hoc-Vergleiche an

der Fahrt ohne System im Mittelwert zwischen 60 und 80 % der Zeit schneller gefahren wird als erlaubt, reduziert sich dies mit ACC und Tempomat auf 35 % bis 60 %. Von der Richtung her ist dieser Effekt beim ACC stärker als beim Tempomat, insbesondere zum Ende der Fahrt hin, wo sich die Prozentsätze zwischen ACC und Tempomat tendenziell unterscheiden.

Das Ergebnis wird noch deutlicher, wenn man die Häufigkeit der Überschreitungen untersucht. Wie Tabelle 11 zeigt, treten bis auf die Kurve mit Geschwindigkeitsbegrenzung auf 70 km/h deutliche Unterschiede zwischen den Fahrten mit den beiden Systemen und ohne System auf (Bild 21) auf. In allen Situationen bis auf die Kurve wird die Geschwindigkeitsbegrenzung mit ACC und Tempomat seltener überschritten. In der Kurve mit der Geschwindigkeitsbegrenzung auf 80 km/h ist mit ACC die Überschreitungshäufigkeit höher.

Zu Beginn einer Geschwindigkeitsbegrenzung wurde jeweils gemessen, wie lange der Fahrer benötigt, um die Geschwindigkeit zu verringern. Entsprechend wurde bei Einsetzen des Nebels vorgegangen. Die Analysen (siehe Tabelle 12) zeigen auf der Landstraße in allen entsprechenden Situationen Unterschiede zwischen den Systemen, wobei sich bei den Geschwindigkeitsbegrenzungen die Fahrt mit Tempomat und ACC jeweils von der Fahrt ohne Systeme unterscheidet. Bei Nebel unterscheidet sich die Fahrt mit ACC von den anderen beiden Bedingungen.

Wie Bild 22 zeigt, wird mit Tempomat und ACC die Geschwindigkeit erst später angepasst. Bei den Kurven mit 70 km/h geschieht dies im Mittelwert sieben Sekunden später, bei der Kurve mit 80 km/h vier Sekunden später. Beim Nebel ist diese Reaktionszeit acht Sekunden länger mit ACC im Vergleich zur Fahrt ohne System. Auch bei Tempomat ist die

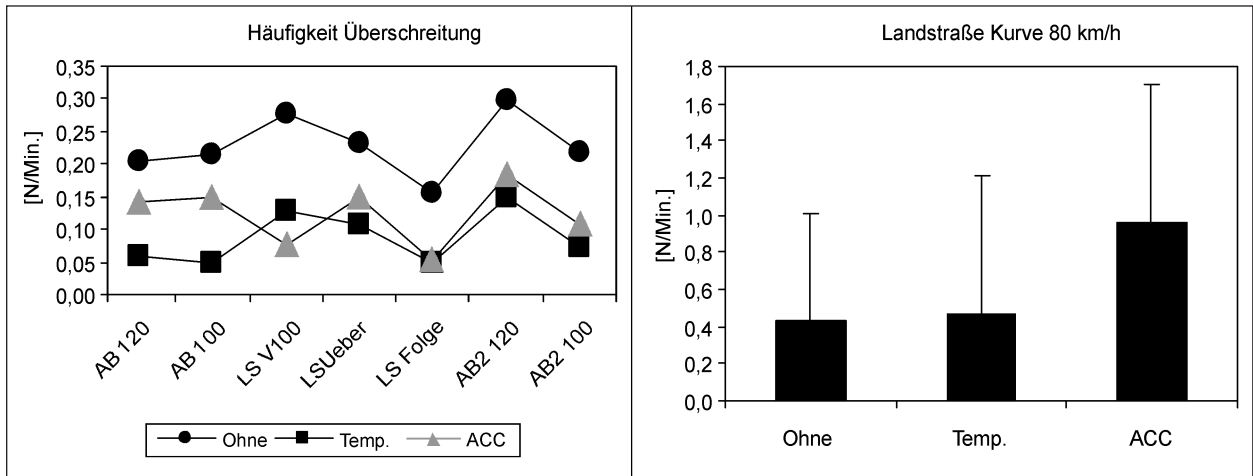


Bild 21: Häufigkeit der Überschreitungen (Anzahl pro Minute) auf der Autobahn im ersten und zweiten Abschnitt bei den Geschwindigkeitsbegrenzungen in den drei Bedingungen. Dargestellt ist der Mittelwert

Reaktionszeit (Schild/Nebel)		F	p	Eta	Manuell/ Tempomat	Manuell/ ACC	Tempomat/ ACC
Auto- bahn 2	100 km/h	2,2	0,122	0,10	0,666	0,152	0,073
	Kurve 70 km/h	7,1	0,002	0,26	0,014	0,012	0,888
Landstraße	Kurve 80 km/h	6,7	0,003	0,25	0,009	0,022	0,463
	Überholen	6,4	0,004	0,24	0,033	0,004	0,180
	Folgefahrt	3,3	0,046	0,14	0,217	0,041	0,039
Auto- bahn 2	120 km/h	1,9	0,162	0,09	0,658	0,244	0,008
	100 km/h	2,9	0,069	0,13	0,151	0,056	0,209

Tab. 12: Überblick über die Ergebnisse der univariaten Varianzanalysen für die Reaktionszeit auf Schilder bzw. bei Nebel in den verschiedenen Situationen. Getestet wurde jeweils mit (2,40) Freiheitsgraden. Die letzten drei Spalten geben die p-Werte für die paarweisen Post-hoc-Vergleiche an

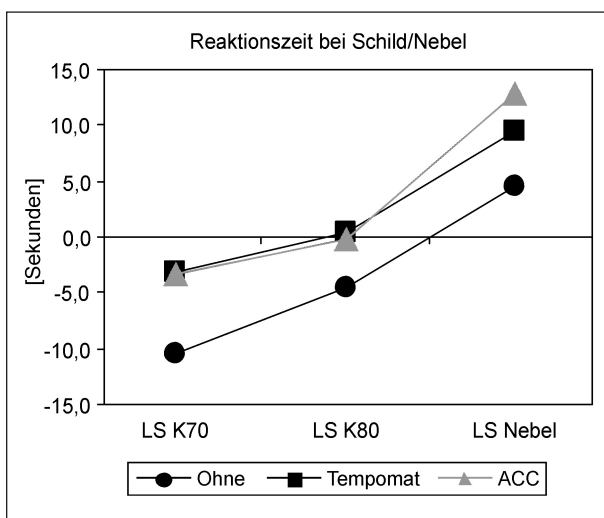


Bild 22: Reaktionszeit bei Schildern und bei Nebel in den verschiedenen Situationen auf der Landstraße in den drei Bedingungen. Dargestellt ist der Mittelwert. Rechts ist die Situation im Überholabschnitt dargestellt, wo zu Beginn die Geschwindigkeitsbegrenzung in der Kurve aufgehoben wurde. Dort sind Mittelwert und Standardabweichung gezeigt

Reaktionszeit bei Nebel deskriptiv um fünf Sekunden verzögert, jedoch wird dies nicht signifikant. Die negativen Werte bei der Kurve mit 70 km/h bedeuten, dass dort bereits vor dem Schild verzögert wurde. Bei der Kurve mit 80 km/h wird ohne System ebenfalls vorher verzögert, mit den Systemen beim Schild. Bei der Landstraße beim Überholabschnitt wird die Geschwindigkeitsbegrenzung nach der Kurve aufgehoben. Hier wird erst nach dem Schild beschleunigt (siehe Bild 23). Auch in dieser Situation beschleunigen die Fahrer mit ACC und Tempomat verzögert.

Die Ergebnisse der Tests des Mittelwerts des Sekundenabstands („Time Headway“, THW) sind in Tabelle 13 dargestellt. In keiner der Situationen zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen den Bedingungen.

Bei dem Minimum des Sekundenabstands (siehe Tabelle 14 und Bild 24) zeigen sich deutliche Unterschiede auf dem ersten Autobahnabschnitt mit

Mittlere THW		F	p	Eta	Manuell/ Tempomat	Manuell/ ACC	Tempomat/ ACC
Autobahn 1	120 km/h	0,2	0,804	0,01	0,680	0,767	0,566
	Freie Fahrt	0,7	0,513	0,03	0,290	0,950	0,729
	100 km/h	0,0	0,966	0,00	0,832	0,986	0,014
	Stau	0,8	0,475	0,04	0,488	0,206	0,672
Land- straße	Überholen	0,8	0,443	0,04	0,424	0,306	0,881
	Folgefahrt	2,7	0,079	0,12	0,431	0,058	0,128
Auto- bahn 2	120 km/h	0,0	0,997	0,00	0,958	0,937	0,873
	Freie Fahrt	0,2	0,805	0,01	0,654	0,512	0,002

Tab. 13: Überblick über die Ergebnisse der univariaten Varianzanalysen für den Mittelwert des Sekundenabstands („Time Headway“, THW) in den verschiedenen Situationen. Getestet wurde jeweils mit (2,40) Freiheitsgraden. Die letzten drei Spalten geben die p-Werte für die paarweisen Post-hoc-Vergleiche an

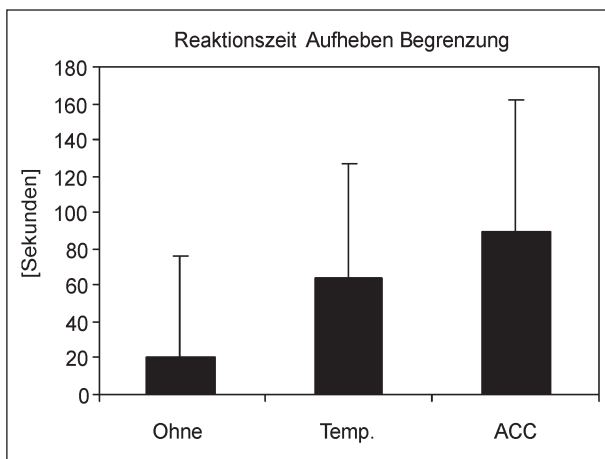


Bild 23: Reaktionszeit beim Aufheben der Geschwindigkeitsbegrenzung nach einer Kurve. Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung

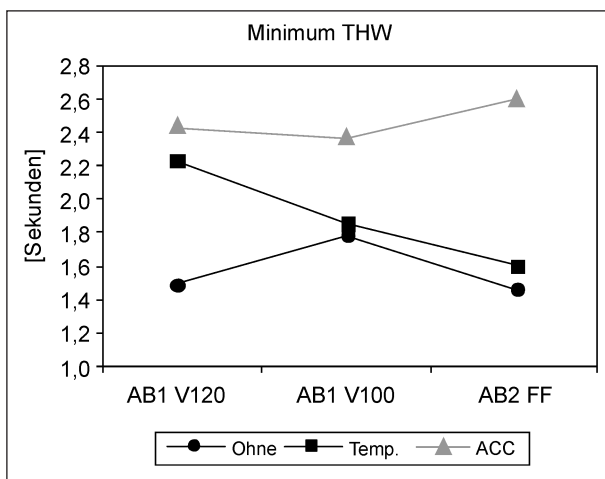


Bild 24: Minimum des Sekundenabstands auf der Autobahn im ersten Abschnitt bei 120 und 100 km/h Geschwindigkeitsbegrenzung und im zweiten Autobahnabschnitt bei freier Fahrt in den drei Bedingungen. Dargestellt ist der Mittelwert

den Geschwindigkeitsbegrenzungen 100 und 120 km/h und auf dem zweiten Autobahnabschnitt bei

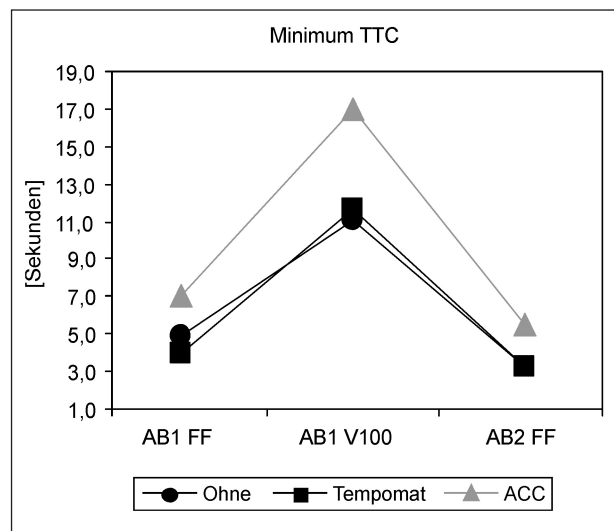


Bild 25: Minimum der TTC auf der Autobahn im ersten und zweiten Abschnitt bei freier Fahrt und im ersten Abschnitt mit 100 km/h Geschwindigkeitsbegrenzung in den drei Bedingungen. Dargestellt ist der Mittelwert

freier Fahrt. Bei freier Fahrt und 100 km/h unterscheidet sich ACC von den anderen beiden Bedingungen. Bei 120 km/h unterscheidet sich die Fahrt mit jedem der beiden Systeme von der Fahrt ohne Systeme. Zu Beginn der Fahrt in der ersten Situation ist der Sekundenabstand mit ACC und Tempomat vergrößert. Dies bleibt bei ACC auch in den anderen Bedingungen. Der Sekundenabstand beim Fahren mit Tempomat ist dagegen in den anderen beiden Bedingungen vergleichbar groß wie beim Fahren ohne System.

Bei der Time-to-Collision (TTC) ergeben sich im Mittelwert ebenso wie bei der THW keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bedingungen. Die Ergebnisdarstellung findet sich in Tabelle 15.

Auch bei der TTC zeigen sich beim Minimum signifikante Unterschiede bei dem ersten Autobahnab-

		Minimum THW	F	p	Eta		Manuell/ Tempomat	Manuell/ ACC	Tempomat/ ACC
Autobahn 1		120 km/h	3,4	0,042	0,15		0,029	0,055	0,566
		Freie Fahrt	0,7	0,519	0,03		0,472	0,228	0,729
		100 km/h	4,8	0,013	0,19		0,772	0,006	0,014
		Stau	1,2	0,309	0,06		0,885	0,219	0,187
Land- straße		Überholen	0,0	0,973	0,00		0,958	0,692	0,881
		Folgefahrt	1,1	0,346	0,05		0,320	0,724	0,128
Auto- bahn 2		120 km/h	0,1	0,932	0,00		0,670	0,851	0,873
		Freie Fahrt	12,5	0,000	0,39		0,527	0,000	0,002

Tab. 14: Überblick über die Ergebnisse der univariaten Varianzanalysen für das Minimum des Sekundenabstands („Time Headway“, THW) in den verschiedenen Situationen. Getestet wurde jeweils mit (2,40) Freiheitsgraden. Die letzten drei Spalten geben die p-Werte für die paarweisen Post-hoc-Vergleiche an

		Mittelwert TTC	F	p	Eta		Manuell/ Tempomat	Manuell/ ACC	Tempomat/ ACC
Autobahn 1		120 km/h	0,0	0,968	0,00		0,873	0,898	0,834
		Freie Fahrt	0,9	0,422	0,04		0,476	0,621	0,132
		100 km/h	1,0	0,380	0,05		0,970	0,251	0,313
		Stau	0,9	0,402	0,04		0,281	0,804	0,332
Land- straße		Überholen	0,7	0,503	0,03		0,319	0,146	0,659
		Folgefahrt	1,1	0,340	0,05		0,165	0,327	0,748
Auto- bahn 2		120 km/h	0,0	0,996	0,00		0,984	0,951	0,931
		Freie Fahrt	0,3	0,764	0,01		0,573	0,489	0,940

Tab. 15: Überblick über die Ergebnisse der univariaten Varianzanalysen für den Mittelwert der TTC (Time-to-Collision) in den verschiedenen Situationen. Getestet wurde jeweils mit (2,40) Freiheitsgraden. Die letzten drei Spalten geben die p-Werte für die paarweisen Post-hoc-Vergleiche an

		Minimum TTC	F	p	Eta		Manuell/ Tempomat	Manuell/ ACC	Tempomat/ ACC
Autobahn 1		120 km/h	3,0	0,063	0,13		0,276	0,070	0,093
		Freie Fahrt	4,9	0,013	0,20		0,367	0,035	0,008
		100 km/h	11,3	0,000	0,36		0,652	0,000	0,001
		Stau	0,3	0,749	0,01		0,578	0,886	0,542
Land- straße		Überholen	0,7	0,505	0,03		0,318	0,123	0,642
		Folgefahrt	0,8	0,458	0,04		0,545	0,208	0,537
Auto- bahn 2		120 km/h	0,5	0,584	0,03		0,765	0,528	0,316
		Freie Fahrt	7,3	0,002	0,27		0,947	0,006	0,006

Tab. 16: Überblick über die Ergebnisse der univariaten Varianzanalysen für das Minimum der TTC (Time-to-Collision) in den verschiedenen Situationen. Getestet wurde jeweils mit (2,40) Freiheitsgraden. Die letzten drei Spalten geben die p-Werte für die paarweisen Post-hoc-Vergleiche an

schnitt bei freier Fahrt und Begrenzung auf 100 km/h und bei der freien Fahrt im zweiten Autobahnabschnitt (siehe Tabelle 16). Auch die TTC ist bei der Fahrt mit ACC deutlich größer als bei Fahrten mit Tempomat oder ohne System. Die TTC bei Fahrten mit Tempomat verändern sich nicht gegenüber der Fahrt ohne System (siehe Bild 25).

Im Bereich der Querführung wurde zunächst die Standardabweichung des Lenkradwinkels untersucht. Hier finden sich nur wenige Effekte, die bei Nebel auf der Landstraße und bei 120 km/h auf der zweiten Autobahnstrecke auftreten (siehe Tabelle 17). Bei Nebel ist mit ACC die Standardabweichung des Lenkradwinkels größer (siehe Bild 27). Dies

SD Lenkradwinkelt			F	p	Eta		Manuell/ Tempomat	Manuell/ ACC	Tempomat/ ACC
Autobahn 1		120 km/h	0,7	0,518	0,03		0,927	0,468	0,220
		Freie Fahrt	0,0	0,973	0,00		0,912	0,914	0,794
		100 km/h	0,9	0,404	0,04		0,894	0,338	0,154
Landstraße		100 km/h	0,1	0,949	0,00		0,593	0,973	0,301
		Überholen	0,9	0,431	0,04		0,193	0,289	0,518
		Folgefahrt	0,4	0,671	0,02		0,362	0,385	0,967
		Nebel	6,7	0,003	0,25		0,418	0,003	0,012
Autobahn 2		120 km/h	7,4	0,002	0,27		0,002	0,019	0,243
		100 km/h	0,6	0,566	0,03		0,408	0,520	0,374
		Freie Fahrt	0,9	0,432	0,04		0,244	0,329	0,835

Tab. 17: Überblick über die Ergebnisse der univariaten Varianzanalysen für die Standardabweichung des Lenkradwinkels in den verschiedenen Situationen. Getestet wurde jeweils mit (2,40) Freiheitsgraden. Die letzten drei Spalten geben die p-Werte für die paarweisen Post-hoc-Vergleiche an

SD Querablage (SDLP)			F	p	Eta		Manuell/ Tempomat	Manuell/ ACC	Tempomat/ ACC
Autobahn 1		120 km/h	0,3	0,722	0,02		0,477	0,564	0,799
		Freie Fahrt	0,3	0,763	0,01		0,714	0,662	0,543
		100 km/h	0,8	0,463	0,04		0,460	0,340	0,195
Landstraße		100 km/h	1,4	0,256	0,07		0,041	0,222	0,301
		Überholen	1,9	0,166	0,09		0,188	0,061	0,547
		Folgefahrt	1,4	0,263	0,06		0,193	0,179	0,970
		Nebel	4,2	0,022	0,17		0,069	0,015	0,310
Autobahn 2		120 km/h	2,8	0,072	0,12		0,021	0,086	0,838
		100 km/h	0,3	0,736	0,02		0,534	0,934	0,374
		Freie Fahrt	1,9	0,160	0,09		0,049	0,192	0,862

Tab. 18: Überblick über die Ergebnisse der univariaten Varianzanalysen für die Standardabweichung der Querablage (SDLP) in den verschiedenen Situationen. Getestet wurde jeweils mit (2,40) Freiheitsgraden. Die letzten drei Spalten geben die p-Werte für die paarweisen Post-hoc-Vergleiche an

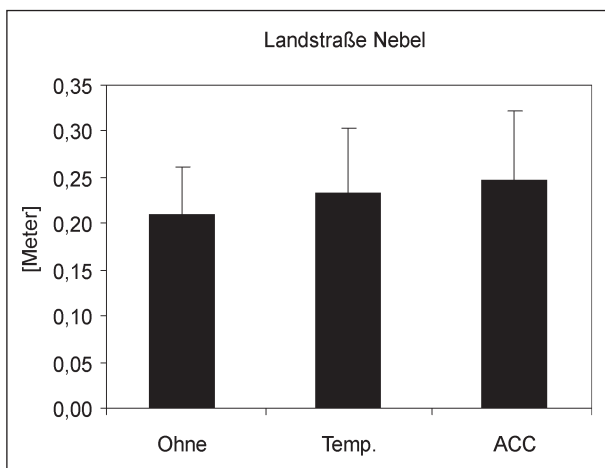


Bild 26: Standardabweichung der Querablage auf der Landstraße bei Nebel in den drei Bedingungen. Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung

kann durch die höhere Geschwindigkeit (s. o.) bedingt sein. Beim zweiten Autobahnabschnitt bei 120 km/h sind die Standardabweichungen des Lenkradwinkels mit Tempomat und ACC erhöht.

Sehr ähnlich sind die Ergebnisse bei der Standardabweichung der Querablage (SDLP; siehe Tabelle 18). Diese sind nur bei Fahrt auf der Landstraße bei ACC und Tempomat etwas höher als bei der Fahrt ohne Systeme (siehe Bild 26).

Die Spuren wurden von den Fahrern in den drei Situationen in vergleichbarer Weise genutzt. Die Zeitanteile, die auf der rechten, mittleren oder (wenn vorhanden) der linken Spur verbracht werden, unterscheiden sich in keiner der Situationen signifikant zwischen den Bedingungen. Tabelle 19 stellt

Prozent der Zeit auf der rechten Spur		F	p	Eta	Manuell/ Tempomat	Manuell/ ACC	Tempomat/ ACC
Autobahn 1	120 km/h	2,0	0,142	0,09	0,063	0,886	0,119
	Freie Fahrt	0,5	0,603	0,03	0,989	0,387	0,287
	100 km/h	1,2	0,309	0,06	0,505	0,389	0,135
	Stau	0,3	0,741	0,01	0,775	0,678	0,348
Autobahn 2	120 km/h	1,4	0,247	0,07	0,660	0,232	0,252
	100 km/h	0,0	0,982	0,00	0,691	0,941	0,932
	Freie Fahrt	0,6	0,565	0,03	0,117	0,533	0,402

Tab. 19: Überblick über die Ergebnisse der univariaten Varianzanalysen für den prozentualen Anteil der Zeit, die auf der Autobahn auf der rechten Spur in den verschiedenen Situationen verbracht wurde. Getestet wurde jeweils mit (2,40) Freiheitsgraden. Die letzten drei Spalten geben die p-Werte für die paarweisen Post-hoc-Vergleiche an

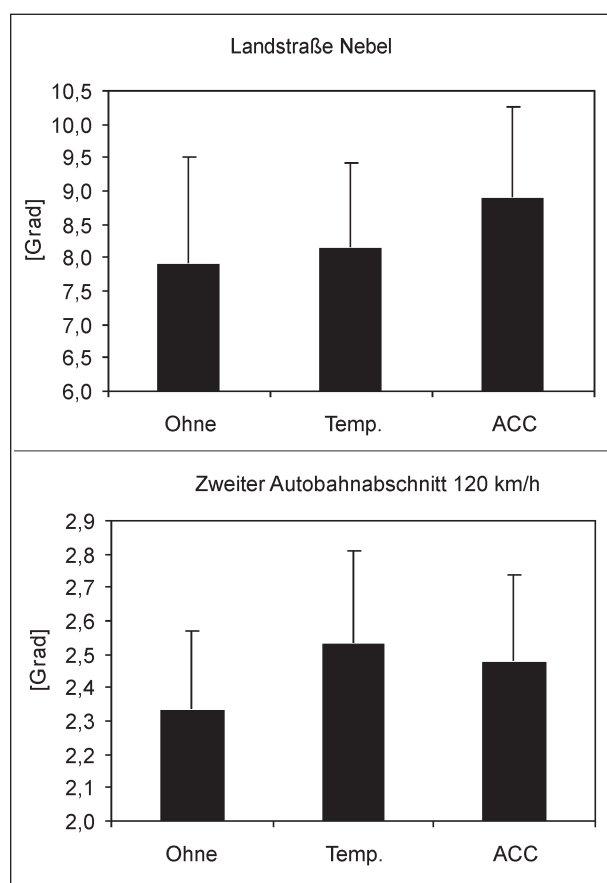


Bild 27: Standardabweichung des Lenkradwinkels auf der Landstraße bei Nebel und beim zweiten Autobahnabschnitt bei der Begrenzung auf 120 km/h in den drei Bedingungen. Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung

die Ergebnisse stellvertretend für die rechte Spur dar. Auch die Anzahl der Überholvorgänge auf der Landstraße ist in den drei Bedingungen vergleichbar ($F = 0,8$, $p = 0,440$).

5.2.1 Zusammenfassung: Veränderung des Fahrverhaltens durch Tempomat und ACC

Bei Fahrten mit dem Tempomat im Vergleich zu Fahrten ohne System verändert sich das Fahrverhalten in folgenden Punkten:

- Der Tempomat führt zu einer gleichmäßigeren Geschwindigkeit auf Autobahn und Landstraße, sodass die Standardabweichung der Geschwindigkeit geringer ist.
- Die maximale Geschwindigkeit wird mit dem Tempomat zu Beginn der Fahrt auf der Autobahn und auf der Landstraße deutlich geringer. Beim zweiten Autobahnabschnitt ist dieser Effekt allerdings nicht zu finden.
- Auf der Autobahn wird insgesamt mit dem Tempomat die Geschwindigkeitsbegrenzung seltener und für eine kürzere Zeit übertreten als bei Fahrten ohne System.
- Auf der Landstraße finden sich mit Tempomat seltenere Überschreitungen der Geschwindigkeit, die allerdings insgesamt vergleichbar lange dauern wie bei Fahrten ohne System.
- In einer Kurve auf der Landstraße mit Geschwindigkeitsbegrenzung auf 80 km/h findet sich eine höhere Standardabweichung der Geschwindigkeit, was ein Hinweis auf eine ungleichmäßige Geschwindigkeitsanpassung sein könnte.
- Die Reaktionszeit auf Schilder und bei Nebel ist mit dem Tempomat um ca. fünf Sekunden verlangsamt.
- Für den minimalen Sekundenabstand zeigt sich nur zu Beginn der Fahrten eine Vergrößerung. In den späteren Abschnitten ist der minimale Se-

kundenabstand vergleichbar mit Fahrten ohne System.

- Für die TTC finden sich keine Veränderungen durch den Tempomat.
- Im Bereich der Querführung finden sich ein leicht höherer Lenkradwinkel bei einem Autobahnabschnitt und eine etwas höhere SD der Querablage bei Nebel auf der Landstraße.

Insgesamt führt damit die Fahrt mit dem Tempomat zunächst zu durchaus positiven Effekten. Die Geschwindigkeit wird gleichmäßiger und besser an die Geschwindigkeitsbegrenzungen angepasst. Negative Effekte bei Folgefahrten lassen sich nicht nachweisen. Allerdings ergeben sich auch Hinweise, dass sich die Anpassung des Fahrverhaltens an Veränderungen der Umwelt verzögert. Bei der Einführung von Geschwindigkeitsbegrenzungen und beim Auftreten von Nebel passen die Fahrer mit Tempomat ihre Geschwindigkeit etwas später an als bei Fahrten ohne Systeme. Dies könnte als Hinweis gewertet werden, dass die Umstellung von den Phasen, in denen der Tempomat die Geschwindigkeit regelt, zu der eigenen Regelung des Fahrers eine relativ große Verzögerung mit sich bringt. Möglicherweise könnte auch das Situationsbewusstsein im Sinne der Erkennung, dass als Fahrer eine Aktion notwendig ist, eingeschränkt sein. Dies könnte sich in entsprechenden Situationen negativ auswirken.

Bei Fahrten mit ACC im Vergleich zu Fahrten ohne System zeigten sich folgende Veränderungen des Fahrverhaltens:

- Die mittlere Geschwindigkeit verändert sich insgesamt zwar nicht, aber bei Nebel wird mit ACC deutlich schneller gefahren als ohne System.
- Bei Nebel ist auch die minimale Geschwindigkeit mit ACC deutlich höher.
- Die Standardabweichung der Geschwindigkeit wird auf der Autobahn mit ACC geringer, d. h., die Geschwindigkeit wird gleichmäßiger.
- Die maximale Geschwindigkeit wird bei der ersten Autobahnstrecke und auf der Landstraße mit ACC geringer.
- Auf der Autobahn wird mit ACC weniger Zeit oberhalb der Geschwindigkeitsbegrenzung verbraucht.
- Auf Autobahn und Landstraße überschreiten die Fahrer die Geschwindigkeitsbegrenzung mit ACC seltener.
- Allerdings wird in der Kurve mit 80 km/h Geschwindigkeitsbegrenzung die Begrenzung mit ACC häufiger überschritten.
- Die Reaktionszeiten bei Schildern und Nebel erhöhen sich mit ACC um ca. fünf Sekunden. Auch bei Aufheben einer Geschwindigkeitsbegrenzung wird später beschleunigt.
- ACC erhöht auf der Autobahn den minimalen Sekundenabstand und die minimale TTC deutlich.
- Bei der Querführung ist im Nebel die Standardabweichung des Lenkradwinkels und der Querablage erhöht, was durch die höhere Geschwindigkeit bedingt sein kann.

Insgesamt verändert damit ACC das Fahrverhalten positiv, indem die Geschwindigkeit gleichmäßiger wird, die Geschwindigkeitsbeschränkungen seltener und kürzer überschritten werden und größere Abstände gehalten werden. Es zeigen sich allerdings noch stärker als beim Tempomat Hinweise, dass die Fahrer bei Veränderungen der Situation langsamer reagieren. Besonders negativ ist außerdem die höhere Geschwindigkeit bei Nebel zu bewerten. Die Fahrer vertrauen offensichtlich darauf, dass ACC voranfahrende Fahrzeuge erkennen kann, und fahren entsprechend schneller. Zusammen mit der verzögerten Reaktionszeit könnte dies zu negativen Effekten führen.

5.3 Nebenaufgaben

Zur Untersuchung der Auswirkung der Nebenaufgabenbearbeitung wurde eine zweifaktorielle MANOVA mit Messwiederholung auf beiden Faktoren durchgeführt (Faktor 1: System [ohne, Tempomat, ACC]; Faktor 2: Bedingung [ohne Nebenaufgabe, Nebenaufgaben bei niedriger und bei mittlerer Verkehrsdichte]). Dabei zeigten sich ein signifikanter Effekt des Systems ($F_{16,68} = 2.8$, $p = 0.002$, $\text{Eta}^2 = 0.398$), der Bedingung ($F_{16,68} = 11.0$, $p = 0.000$, $\text{Eta}^2 = 0.721$) und nur tendenziell eine Wechselwirkung ($F_{16,68} = 1.4$, $p = 0.089$, $\text{Eta}^2 = 0.127$). Über zweifaktorielle univariate Varianzanalysen wurde dann pro Parameter im Nachtest geprüft, ob sich diese Effekte auch bei den einzelnen Parametern finden. Dabei zeigte sich, dass bei keinem Parameter einzeln eine Wechselwirkung auftrat, sodass diese Tendenz nicht interpretiert wird. Tabelle 20 zeigt die Ergebnisse dieser Tests. Ein Effekt des Systems findet sich bei der mittleren Geschwindigkeit.

Parameter	System			Bedingung			Wechselwirkung		
	F	p	Eta	F	p	Eta	F	p	Eta
Mittlere Geschwindigkeit	4,2	0,022	0,17	18,3	0,000	0,48	1,1	0,355	0,05
Maximale Geschwindigkeit	0,8	0,471	0,04	31,7	0,000	0,61	1,9	0,126	0,08
SD Geschwindigkeit	19,9	0,000	0,50	3,4	0,044	0,14	1,0	0,389	0,05
SD Lenkradwinkel	3,0	0,063	0,13	3,3	0,046	0,14	1,0	0,404	0,05
SD Querablage (SDLP)	1,6	0,217	0,07	9,3	0,000	0,32	0,0	0,996	0,00
Prozent auf rechter Spur	1,8	0,185	0,08	0,6	0,534	0,03	1,7	0,158	0,08
Prozent mittlere Spur	1,5	0,231	0,07	4,3	0,021	0,18	0,8	0,542	0,04
Prozent linke Spur	0,3	0,780	0,01	9,0	0,001	0,31	0,4	0,778	0,02

Tab. 20: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalysen zur Prüfung der Systemwirkung (ohne System, mit Tempomat, mit ACC), der Bedingung (ohne Nebenaufgabe, Nebenaufgabe bei niedriger Verkehrsdichte und Nebenaufgabe bei mittlerer Verkehrsdichte) und ihrer Wechselwirkung. Die Hauptwirkungen wurde getestet mit $df(2,40)$, die Wechselwirkung mit $df(4,80)$

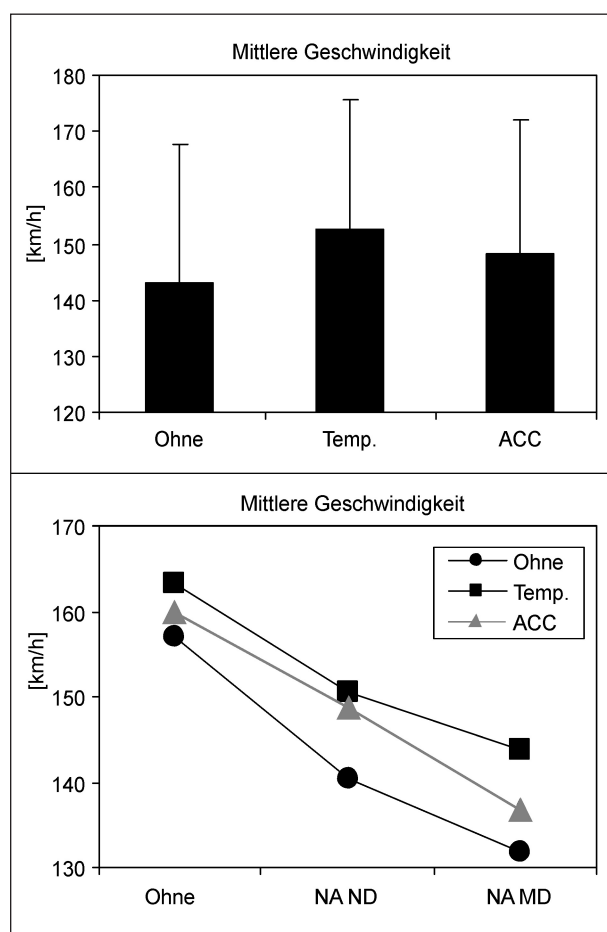


Bild 28: Effekt der Systeme bei der mittleren Geschwindigkeit insgesamt (oben) und in Abhängigkeit vom gefahrenen System (unten). Dargestellt sind jeweils Mittelwert und Standardabweichung

keit und der Standardabweichung der Geschwindigkeit. Die Bearbeitung der Nebenaufgaben wirkt sich auf alle Parameter bis auf den prozentualen Anteil, der auf der rechten Spur verbracht wurde, aus.

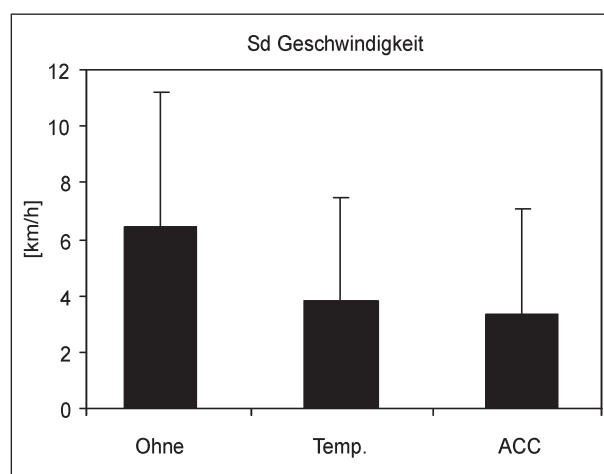


Bild 29: Effekt der Systeme bei der Standardabweichung der Geschwindigkeit. Dargestellt sind jeweils Mittelwert und Standardabweichung

Bild 28 zeigt den Effekt der Systeme. Mit Tempomat und ACC ist die Geschwindigkeit erhöht, wobei nur der Unterschied zwischen der Fahrt ohne System und mit Tempomat signifikant wird ($p = 0,001$). Die Fahrt mit ACC ist dagegen nicht unterschiedlich ($p = 0,185$). Ein solcher Effekt hatte sich oben bei Untersuchung der einzelnen Strecken nicht feststellen lassen, insbesondere nicht bei der freien Fahrt, die hier als Fahrt ohne System eingeht. Die höhere mittlere Geschwindigkeit mit Tempomat ist daher insbesondere auf die Fahrten mit den Nebenaufgaben zurückzuführen. Dies ist unten in Bild 28 dargestellt. Während die Fahrer ohne System die Geschwindigkeit deutlich verringern, wenn sie Nebenaufgaben bearbeiten, geschieht dies mit dem Tempomat in etwas geringerem Maße.

Bei der Standardabweichung der Geschwindigkeit (siehe Bild 29) zeigt sich mit und ohne Nebenauf-

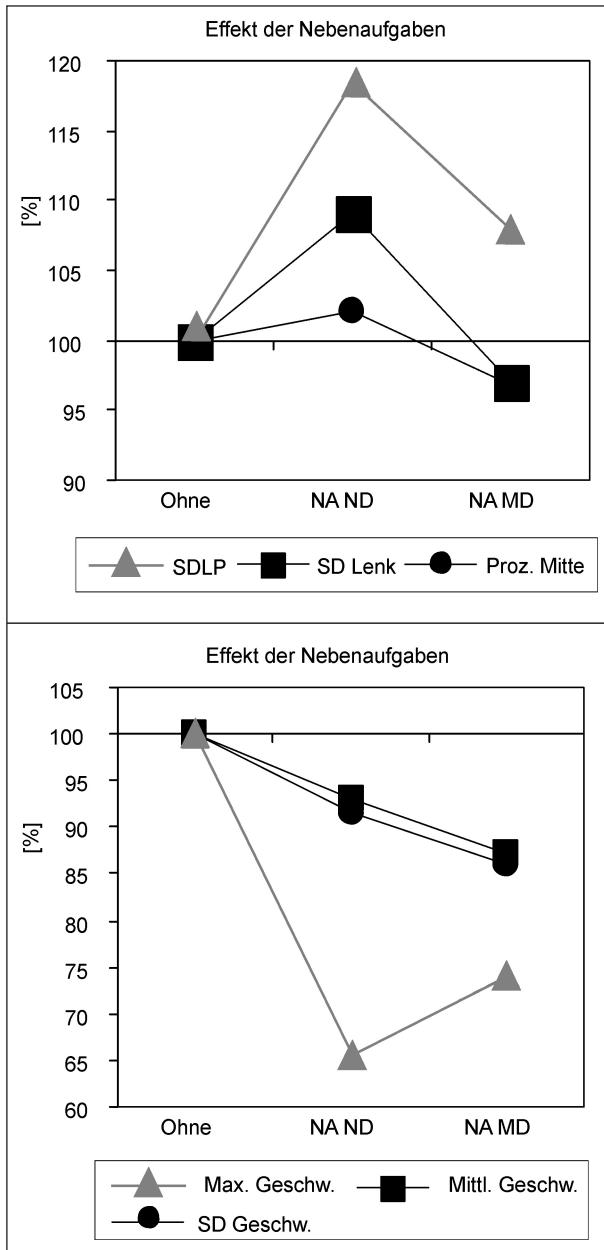


Bild 30: Effekt der Nebenaufgabenbearbeitung bei den verschiedenen Parametern. Der Wert in der Fahrt ohne Nebenaufgabe wurde jeweils auf 100 % gesetzt und die anderen Werte darauf bezogen, um die verschiedenen Parameter in einer Grafik darstellen zu können

gabe ein ähnliches Bild, wie es bereits oben beschrieben wurde. Wenn Tempomat oder ACC eingesetzt werden, wird die Geschwindigkeit gleichförmiger und die Standardabweichung verringert sich.

Um den Effekt der Nebenaufgaben für die verschiedenen Parameter grafisch darzustellen, wurde der Wert jedes Parameters in der Fahrt ohne System auf 100 % gesetzt und die anderen Werte darauf bezogen. Das Ergebnis zeigt Bild 30, wobei die Parameter danach geordnet wurden, ob mit Ne-

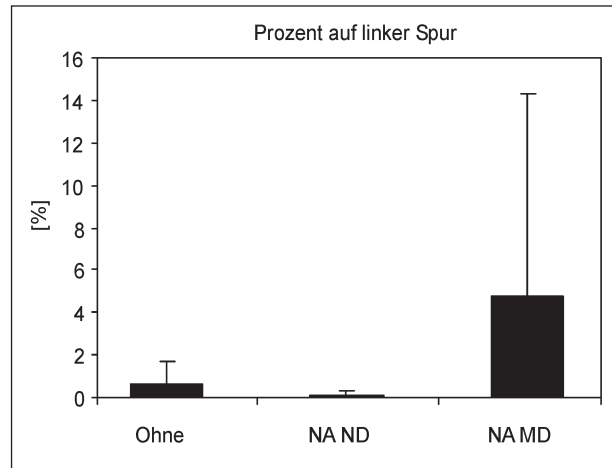


Bild 31: Veränderung des Anteils, der auf der linken Spur gefahren wird. Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung

benaufgaben eine Zunahme oder Abnahme auftrat. Man erkennt oben, dass die SDLP bei Nebenaufgaben größer wird, wobei dieser Effekt bei der zweiten Bearbeitung kleiner ist. Die Standardabweichung des Lenkradwinkels ist nur bei der ersten Bearbeitung erhöht, bei der zweiten dagegen verringert. Bei der ersten Nebenaufgabe wird etwas mehr Zeit auf der mittleren Spur verbracht, bei der zweiten Bearbeitung etwas weniger.

Unten im Bild wird deutlich, dass die Fahrer bei Bearbeitung der Nebenaufgaben im Mittel langsamer fahren und auch die maximale Geschwindigkeit kleiner wird. Außerdem verringert sich die Standardabweichung der Geschwindigkeit.

Schließlich zeigt Bild 31, dass bei der zweiten Bearbeitung der Nebenaufgaben deutlich häufiger auf der linken Spur gefahren wird.

Die unterschiedlichen Effekte könnten dadurch begründet sein, dass die Nebenaufgabe in den beiden Situationen unterschiedlich bearbeitet wurde. Die Ergebnisse der zweifaktoriellen Testung zeigt Tabelle 21. Es gibt bei der Bearbeitung weder einen Effekt der Systeme noch eine Wechselwirkung, d. h., die Nebenaufgaben werden ohne System, mit Tempomat und mit ACC in ähnlicher Geschwindigkeit und Qualität bearbeitet wie bei Fahrten ohne System. Dagegen unterscheiden sich die beiden Bedingungen deutlich bei der Anzahl bearbeiteter Aufgaben (absolut und pro Minute Fahrtzeit) und bei der durchschnittlichen Dauer der Bearbeitungszeit.

Wie Bild 32 zeigt, wurden im zweiten Abschnitt bei mittlerer Verkehrsdichte deutlich mehr Nebenauf-

Parameter	System			Bedingung			Wechselwirkung		
	F	p	Eta	F	p	Eta	F	p	Eta
Anzahl Nebenaufgaben	1,4	0,249	0,07	31,3	0,000	0,61	2,0	0,153	0,09
Anzahl pro Minute	0,2	0,796	0,01	22,4	0,000	0,53	0,9	0,433	0,04
Dauer Nebenaufgabe	1,0	0,389	0,05	5,7	0,027	0,22	0,0	0,958	0,00
Anzahl Fehler	0,3	0,771	0,01	3,4	0,079	0,15	2,5	0,096	0,11
Anzahl Fehler pro Minute	0,2	0,798	0,01	2,4	0,136	0,11	2,6	0,085	0,12

Tab. 21: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalysen zur Prüfung der Systemwirkung (ohne System, mit Tempomat, mit ACC), der Bedingung (Nebenaufgabe bei niedriger Verkehrsdichte und Nebenaufgabe bei mittlerer Verkehrsdichte) und ihrer Wechselwirkung

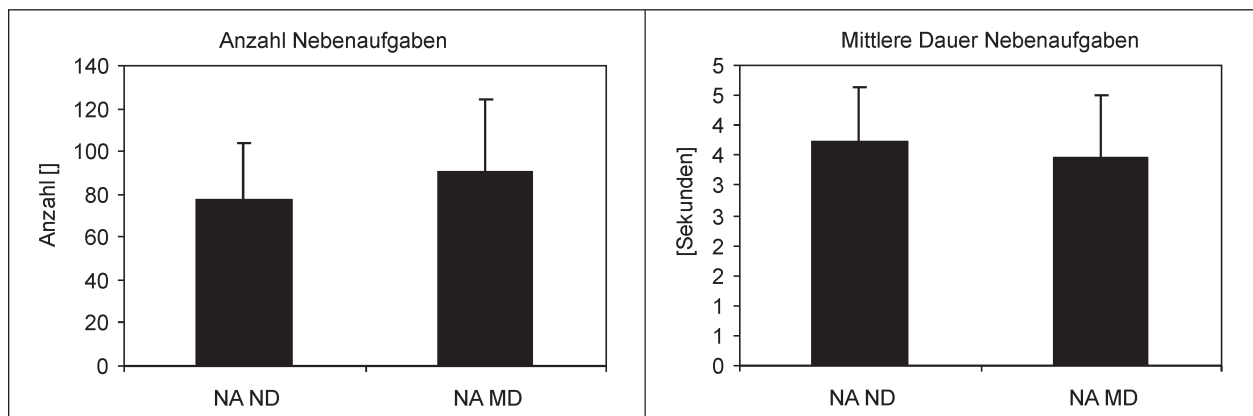


Bild 32: Anzahl und mittlere Dauer der bearbeiteten Nebenaufgaben in den beiden Streckenabschnitten mit niedriger (ND) und mittlerer (MD) Verkehrsdichte. Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung

gaben bearbeitet und die mittlere Dauer der Bearbeitungszeit verringerte sich entsprechend. Da gleichzeitig die Spurhaltung im zweiten Abschnitt etwas besser war als im ersten Abschnitt, ist dies wohl als Übungseffekt zu interpretieren.

Da vermutet wurde, dass sich Fahrer mit Tempomat oder ACC vermehrt Nebenaufgaben zuwenden, zeigt Bild 33 die Anzahl bearbeiteter Aufgaben in den beiden Nebenaufgabenbedingungen mit den verschiedenen Systemen. Man erkennt sehr deutlich, dass mit Tempomat im Gegenteil weniger Aufgaben bearbeitet werden. Die Anzahl der Aufgaben bei ACC unterscheidet sich dagegen nicht von der ohne System.

Untersucht man die Systemnutzung bei den Nebenaufgaben, so zeigt sich kein Unterschied in der Häufigkeit der Nutzung von ACC und Tempomat (siehe Tabelle 22), aber ein Unterschied der Bedingung, wobei dies nur für den Prozentsatz der Zeit, in der die Geschwindigkeit des Systems angepasst wird (Prozent Override), signifikant wird. Bei dem prozentualen Teil der Zeit, die das System aktiv bzw. inaktiv ist, ergeben sich nur Tendenzen. Eine Wechselwirkung ist nicht zu finden.

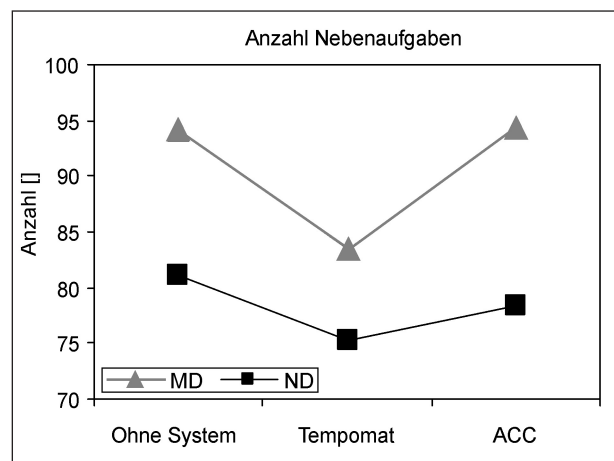


Bild 33: Anzahl bearbeiteter Nebenaufgaben in der ersten Situation mit niedriger Verkehrsdichte (ND) und in der zweiten mit mittlerer Verkehrsdichte (MD) in den drei Bedingungen (ohne System, mit Tempomat und mit ACC)

Bild 34 zeigt die Effekte. Man erkennt links, dass der Tempomat tendenziell in der ersten Phase der Nebenaufgabenbearbeitung etwas länger aktiv ist, dann in der zweiten Phase aber weniger genutzt wird als bei den Fahrten ohne Nebenaufgabe. Rechts ist deutlich, dass die Probanden bei der ers-

ten Phase der Nebenaufgabenbedienung die Geschwindigkeit des Systems nicht anpassen, während sie dies in der zweiten Phase der Nebenaufgabenbearbeitung taten. Dies ist auf die unterschiedliche Verkehrsdichte zurückzuführen, die in der ersten Phase der Bearbeitung sehr niedrig (niedrige Dichte ND), in der zweiten Phase höher war (mittlere Dichte, MD).

Zusammenfassend lässt sich damit für die Bearbeitung von Nebenaufgaben mit Tempomat und ACC festhalten:

- Fahrer verringern bei der Bearbeitung von Nebenaufgaben ihre Geschwindigkeit. Dies kann als Kompensationsstrategie aufgefasst werden, um auf diese Weise die möglichen Ablenkungseffekte zu verringern.
- Diese Geschwindigkeitsanpassung fällt insbesondere mit dem Tempomaten deutlich geringer aus als bei Fahrten ohne System. Auch für ACC zeigt sich ein ähnlicher Effekt.
- Die Bearbeitung der Nebenaufgabe führt zu einer schlechteren Spurhaltung und zu einer er-

höhten Standardabweichung des Lenkradwinkels, wobei diese Effekte bei dem zweiten Durchgang bereits deutlich geringer sind, obwohl dort mehr Nebenaufgaben bearbeitet werden. Die Fahrer müssen auch aufgrund des stärkeren Verkehrs ihre Geschwindigkeit häufiger anpassen und wechseln auch die Spur öfter, d. h., die Anforderungen der Fahraufgabe steigen. Dennoch sind eher Verbesserungen der Leistung im Vergleich zum ersten Durchgang mit Nebenaufgaben zu beobachten. Hier ist demnach von einem starken Übungseffekt bei den Nebenaufgaben auszugehen.

- Mit Tempomat werden nicht mehr Nebenaufgaben bearbeitet. Es lässt sich im Gegenteil eher eine Verminderung finden. Damit ergibt sich kein Hinweis darauf, dass die Fahrer sich mit Tempomat stärker Nebenaufgaben widmen.
- Mit ACC ist die Anzahl bearbeiteter Aufgaben vergleichbar groß wie bei Fahrten ohne System. Auch für ACC lässt sich damit in dieser Studie kein Hinweis finden, dass Fahrer sich mit diesem System mehr auf Nebenaufgaben konzentrieren.

Parameter	System			Bedingung			Wechselwirkung		
	F	p	Eta	F	p	Eta	F	p	Eta
Prozent Aktiv	2,7	0,115	0,12	3,2	0,053	0,14	2,0	0,154	0,09
Prozent Suspend	2,3	0,142	0,10	2,8	0,074	0,12	1,4	0,251	0,07
Prozent Override	2,0	0,172	0,09	3,9	0,029	0,16	1,2	0,323	0,05

Tab. 22: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalysen zur Prüfung der Systemwirkung (mit Tempomat, mit ACC), der Bedingung (Fahrt ohne Nebenaufgabe, Nebenaufgabe bei niedriger Verkehrsdichte und Nebenaufgabe bei mittlerer Verkehrsdichte) und ihrer Wechselwirkung

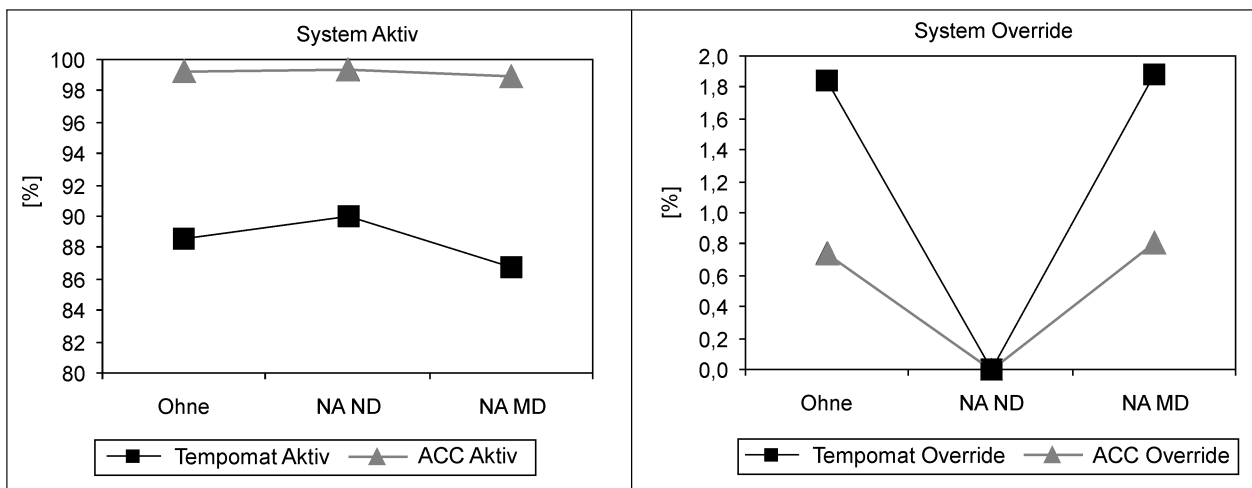


Bild 34: Systemnutzung ohne und mit Nebenaufgaben bei freier Fahrt auf dem zweiten Autobahnabschnitt. Dargestellt sind die Mittelwerte für den prozentualen Anteil der Zeit, in der das System aktiv war (links) und in der die Geschwindigkeit des Systems geändert wurde (Override, rechts)

- Bei dichterem Verkehr, wenn auch die Geschwindigkeit häufiger angepasst werden muss, wird der Tempomat etwas häufiger deaktiviert, wenn gleichzeitig Nebenaufgaben bearbeitet werden. Auch hier zeigen sich eher ein gegenteiliger Effekt und keine Entlastung.
- ACC wird ohne und mit Nebenaufgaben sehr vergleichbar genutzt.

Insgesamt ergeben sich damit keine Hinweise, dass eine Entlastung durch das Fahren mit Tempomat zu einer verstärkten Zuwendung zu Nebenaufgaben führt und das Fahrverhalten stärker beeinträchtigt wird als bei Fahrten ohne Tempomat.

5.4 Herzrate

Bei der Herzrate gab es bei fünf Probanden so viele Ausfälle, dass sie aus der Analyse ausgeschlossen werden mussten. Demzufolge basieren die folgenden Auswertungen auf n = 17 Probanden.

Für jede der drei Szenarien (erster Autobahnabschnitt, Landstraße, zweiter Autobahnabschnitt) wurde über eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung geprüft, ob die verschiedenen Situationen (Faktor 1) und die Systeme (ohne, Tempomat, ACC) den Mittelwert und die Standardabweichung der Herzrate verändern. Der Mittelwert ist ein Indikator für die generelle, unspezifische Aktivierung. Die Standardabweichung soll vor allem auf kognitive Beanspruchung mit einer Abnahme reagieren. Tabelle 23 zeigt die Ergebnisse. Insgesamt ergibt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Systemen, allerdings Tendenzen auf der Landstraße für den Mittelwert und auf dem ersten Autobahnabschnitt für die Standardabweichung. Die unterschiedlichen Situationen wirken sich auf beiden Autobahnabschnitten auf den Mittelwert aus, auf der Landstraße auf die Standardabweichung.

Wie Bild 35 zeigt, ist die Herzrate mit Tempomat auf der Landstraße von der Richtung her in allen Situationen erhöht. Wie der Nachtest zeigt, unterscheidet sich die Fahrt mit Tempomat von der Fahrt ohne System signifikant ($p = 0.027$).

In Bild 36 ist die Standardabweichung der Herzrate auf dem ersten Autobahnabschnitt dargestellt. Diese ist tendenziell mit beiden Systemen etwas er-

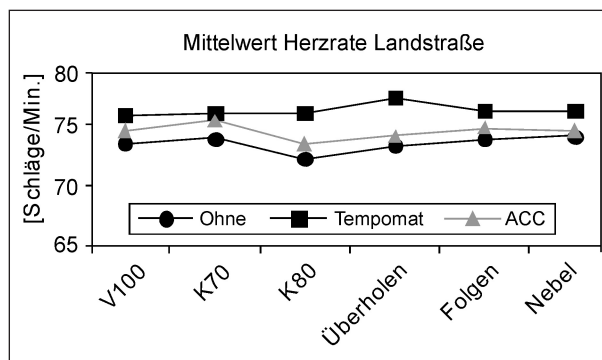


Bild 35: Mittelwert der Herzrate in den verschiedenen Situationen auf der Landstraße bei der Fahrt mit den unterschiedlichen Systemen (ohne, mit Tempomat, mit ACC)

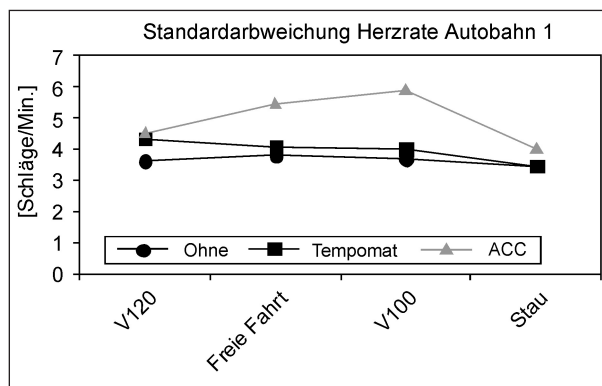


Bild 36: Standardabweichung der Herzrate in den verschiedenen Situationen auf dem ersten Autobahnabschnitt bei der Fahrt mit den unterschiedlichen Systemen (ohne, mit Tempomat, mit ACC)

Herzrate	System				Situation				Wechselwirkung		
	F	p	Eta		F	p	Eta		F	p	Eta
	Autobahn 1 Mittelwert	0,7	0,508		0,04	3,1	0,036		0,15	0,7	0,617
Landstraße Mittelwert	3,0	0,063	0,15	0,9	0,461	0,05	0,6	0,778	0,04		
Autobahn 2 Mittelwert	1,6	0,219	0,09	18,1	0,000	0,53	1,5	0,179	0,08		
Autobahn 1 SD	3,2	0,053	0,16	2,6	0,060	0,13	1,1	0,390	0,06		
Landstraße SD	1,0	0,390	0,05	10,2	0,000	0,37	1,0	0,479	0,05		
Autobahn 2 SD	1,5	0,246	0,08	0,8	0,549	0,05	0,3	0,951	0,02		

Tab. 23: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse für Mittelwert und Standardabweichung der Herzrate mit den beiden Faktoren „System“ und „Situation“

hört, insbesondere auf den Abschnitten mit Geschwindigkeitsbegrenzung und bei freier Fahrt. Eine Erhöhung ist als geringere kognitive Beanspruchung zu interpretieren. Dies könnte eine Folge davon sein, dass beide Systeme dem Fahrer bestimmte Aufgaben abnehmen. Dazu passt auch, dass der Effekt von ACC stärker ist als von Tempomat, da ACC auch die Abstandsregelung übernimmt.

Ein Effekt der Situation zeigt sich für den Mittelwert und damit die unspezifische Aktivierung auf beiden Autobahnabschnitten (siehe Bild 37). Einerseits erkennt man einen Zeiteffekt, wobei die Fahrten beim zweiten Autobahnabschnitt mit einer geringeren Herzrate einhergehen als im ersten Autobahnabschnitt. Eine Ausnahme sind die beiden Situationen, bei denen Nebenaufgaben bearbeitet werden. Diese weisen beide eine höhere Herzrate auf als die vergleichbare Fahrt im zweiten Autobahnabschnitt (AB2 FF). Diese Erhöhung ist mit ACC am stärksten.

Für die Standardabweichung der Herzrate als Indikator für kognitive Beanspruchung zeigt sich auf der Landstraße ein Effekt der unterschiedlichen Situationen, der in Bild 38 dargestellt ist. In den Kurven mit Geschwindigkeitsbegrenzung auf 70 bzw. 80 km/h ist die Standardabweichung verringert, was auf eine erhöhte Beanspruchung hinweist, die hier durch die Anforderungen der Fahraufgabe bedingt sind. Unterschiede zwischen den Systemen oder eine Wechselwirkung werden nicht signifikant.

Damit ergibt sich zusammenfassend für die Analyse der Herzrate:

- Der Tempomat führt tendenziell auf der Landstraße, was wahrscheinlich nicht die typische

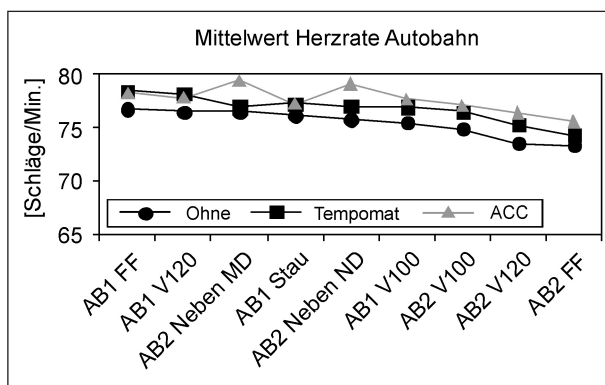


Bild 37: Mittelwert der Herzrate in den verschiedenen Situationen auf beiden Autobahnabschnitten bei der Fahrt mit den unterschiedlichen Systemen (ohne, mit Tempomat, mit ACC)

Nutzung ist, zu einer stärkeren unspezifischen Aktivierung. Die kognitive Beanspruchung ist bei dem ersten Teilstück der Autobahn mit Tempomat etwas geringer, was darauf zurückzuführen sein könnte, dass der Tempomat die Geschwindigkeitsregulation übernimmt. Dieser Effekt ist aber im zweiten Autobahnabschnitt nicht mehr nachzuweisen. Damit finden sich insgesamt keine starken Belege für eine Entlastung durch den Tempomat.

- ACC führt auf dem ersten Autobahnabschnitt zu einer Reduktion der kognitiven Beanspruchung (erhöhte SD der Herzrate), was durch die Übernahme von Geschwindigkeits- und Abstandsregelung verursacht sein könnte. Dies ist allerdings weder auf der Landstraße noch auf dem zweiten Autobahnabschnitt nachzuweisen, sodass auch hier von der physiologischen Seite her keine starken Hinweise auf eine Entlastung durch ACC zu finden sind.
- Bei der unspezifischen Aktivierung (Mittelwert der Herzrate) findet sich ein Zeiteffekt mit einer Beruhigung über den Versuch hinweg. Die Bearbeitung der Nebenaufgaben führt zu einer stärkeren Aktivierung.
- Auf der Landstraße führen enge Kurven mit Geschwindigkeitsbegrenzungen zu einer erhöhten kognitiven Beanspruchung.

Damit erweisen sich beide Parameter der Herzrate als geeignet, um Variationen der Bedingungen abzubilden. Dennoch finden sich keine starken Hinweise darauf, dass Tempomat oder ACC längerfristig zu einer Entlastung führen, sei es bei der unspezifischen Aktivierung oder der kognitiven Beanspruchung.

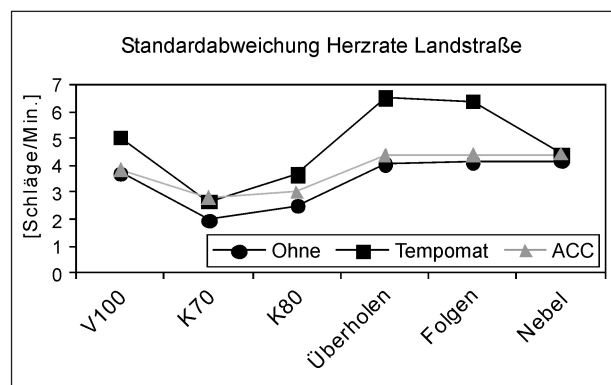


Bild 38: Standardabweichung der Herzrate in den verschiedenen Situationen auf der Landstraße bei der Fahrt mit den unterschiedlichen Systemen (ohne, mit Tempomat, mit ACC)

5.5 Subjektive Bewertung der Fahrt

Die Probanden bewerteten nach jeder Strecke die Fahrt. Diese Werte wurden pro Bedingung zu einem Mittelwert zusammengefasst und mit einer zweifaktoriellen multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung ausgewertet (Faktor 1: System; Faktor 2: Experte vs. Novize). Die Analyse zeigt einen Haupteffekt des Systems ($F_{2,40} = 2.3$, $p = 0.01$), keinen Effekt der Erfahrung ($F_{1,20} = 1.5$, $p = 0.24$) und eine Tendenz für eine Interaktion ($F_{2,66} = 1.7$, $p = 0.08$). Da sich diese Interaktion in den Einzeltests pro Frage nicht wiederfindet, wird sie nicht weiter untersucht. Bei den univariaten Nachtests fanden sich signifikante Haupteffekte des Faktors „System“ bei allen Items des Fragebogens mit Ausnahme der Frage „Wie schnell sind Sie gefahren?“. Eine Übersicht über die entsprechenden Ergebnisse findet sich in Tabelle 24.

Frage	F (2,40)	p
Wie anstrengend war die Fahrt?	4,1	0,024
Wie sehr mussten Sie sich konzentrieren?	5,3	0,009
Wie sicher haben Sie sich bei der Fahrt gefühlt?	5,1	0,018
Wie risikoreich sind Sie gefahren?	4,4	0,019
Wie gefährlich war die Fahrt insgesamt?	6,2	0,004
Wie schnell sind Sie gefahren?	0,3	0,071
Wie stark haben Sie sich an die Geschwindigkeitsbegrenzungen gehalten?	7	0,002

Tab. 24: Ergebnisse der univariaten Analyse des Einzelitems des Kurzfragebogens

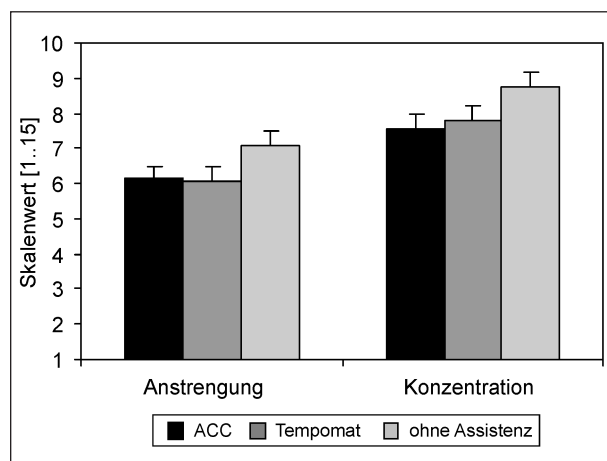


Bild 39: Bewertung von Anstrengung und Konzentration im Kurzfragebogen in den drei Bedingungen (Fahrt ohne System, mit Tempomat, mit ACC). Dargestellt sind Mittelwerte und Standardfehler

Bei den paarweisen Einzelvergleichen zeigte sich, dass sich Unterschiede zwischen Tempomat bzw. ACC und der Fahrt ohne System ergeben. Tempomat und ACC unterscheiden sich nicht signifikant. Bei der Anstrengung und notwendigen Konzentration (siehe Bild 39) zeigte sich, dass das Fahren ohne Assistenz tendenziell als anstrengender empfunden wird als mit Tempomat ($p = 0.066$). Auch die Fahrt mit ACC ist von der Richtung her weniger anstrengend. Allerdings wird dies nicht signifikant ($p = 0.151$). Bei der notwendigen Konzentration sind die Effekte ähnlich. Allerdings ist hier der Unterschied zwischen ACC und Fahrt ohne System signifikant ($p = 0.023$), aber nicht der zwischen der Fahrt ohne Assistenz und mit Tempomat ($p = 0.137$).

Bei der Bewertung der Sicherheitsaspekte (siehe Bild 40) fühlen sich die Fahrer mit beiden Systemen sicherer, wobei dies mit ACC tendenziell ($p = 0.08$), beim Tempomat deutlich signifikant ($p = 0.037$) ausfällt. Dasselbe zeigt sich für die Frage, wie gefährlich die Fahrt insgesamt war (ACC: $p = 0.055$; Tempomat: $p = 0.011$). Mit Tempomat geben die Fahrer an, weniger risikoreich gefahren zu sein ($p = 0.038$). Dies gilt von der Richtung her auch für ACC, allerdings ist dies nicht signifikant ($p = 0.168$).

Wie bereits oben erwähnt, unterscheidet sich aus Sicht der Probanden die Geschwindigkeit nicht, mit der sie in den verschiedenen Bedingungen gefahren waren (siehe Bild 41). Allerdings geben die Probanden an, sich mit ACC ($p = 0.013$) und Tempomat ($p = 0.025$) stärker an die Geschwindigkeitsbegrenzungen gehalten zu haben.

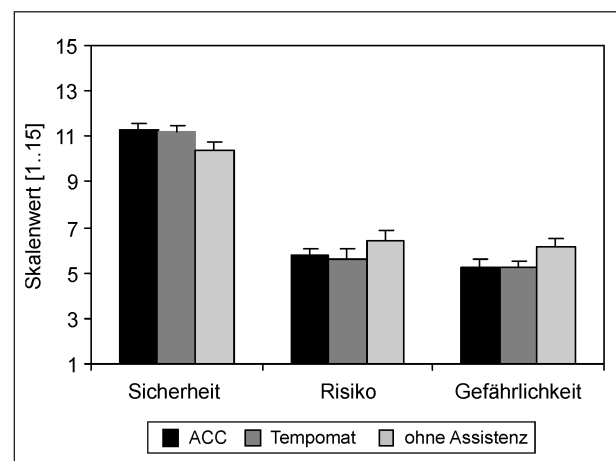


Bild 40: Bewertung von Sicherheit, Risiko und Gefährlichkeit im Kurzfragebogen in den drei Bedingungen (Fahrt ohne System, mit Tempomat, mit ACC). Dargestellt sind Mittelwerte und Standardfehler

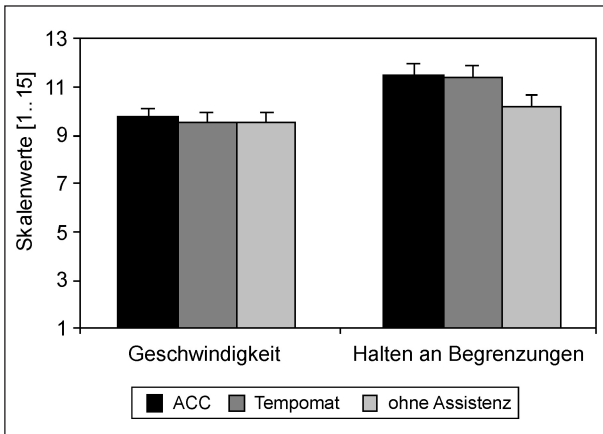


Bild 41: Bewertung der Geschwindigkeit und des Haltens an die Geschwindigkeitsbegrenzungen in den drei Bedingungen (Fahrt ohne System, mit Tempomat, mit ACC). Dargestellt sind Mittelwerte und Standardfehler

5.6 Bewertung von Tempomat und ACC

Nach der Fahrt mit den beiden Systemen wurden verschiedene Aspekte der Akzeptanz und Zufriedenheit erfragt. In sechzehn Fragen ist ein direkter Vergleich zwischen ACC und Tempomat sinnvoll. Diese wurden über t-Tests für abhängige Stichproben verglichen, wobei das Alpha-Niveau auf 0.003 adjustiert wurde, um damit die Alpha-Inflation zu vermeiden. Bei zwei Fragen ergab sich ein p-Wert von 0.003, der als Tendenz interpretiert wird. Die Ergebnisse der Tests sind in Tabelle 25 dargestellt, wobei sich bei 6 Fragen signifikante oder tendenzielle Unterschiede ergaben.

Bild 42 zeigt die Mittelwerte der Bewertungen im Vergleich. Die Probanden finden den Tempomat insgesamt besser als ACC und würden lieber ein Fahrzeug mit Tempomat fahren. Sie kommen mit dem Tempomat besser zurecht, werden weniger abgelenkt, finden den Tempomat weniger lästig und haben ein größeres Vertrauen in das System.

5.7 Vergleichende Bewertung der Systeme am Ende der Untersuchung

Am Ende der Untersuchung wurden die Probanden gebeten, alle Systeme hinsichtlich positiver und negativer Aspekte zu vergleichen, wobei jeweils eine Reihung der drei Bedingungen (ohne System, mit Tempomat, mit ACC) hergestellt werden sollte. Die Antworthäufigkeiten wurden mit dem Chi-Quadrat-Test verglichen. Bei den positiven Aspekten zeigte

Bewertungsaspekt	t (20)	p
Verständlichkeit	-1,24	0,229
Zurechtkommen mit dem System	-3,54	0,003
Globales Urteil System	-4,33	0,000
Nutzen der Geschwindigkeitsübernahme	0,13	0,902
Nutzen der Beschleunigungsübernahme	-0,26	0,800
Komfort der Geschwindigkeitsübernahme	-0,59	0,560
Komfort der Beschleunigungsübernahme	-0,13	0,201
Globales Urteil Systemkomfort	-2,21	0,038
Freude am Fahren mit dem System	-2,21	0,038
Ablenkung durch das System	3,35	0,003
Beeinflussung des Fahrens durch das System	1,93	0,067
Wunsch, ein Auto mit dem System zu fahren	-4,34	0,000
Sicherheit, die das System bietet	1,47	0,158
Lästigkeit des Systems	4,59	0,000
Geldwert, der für das System bezahlt würde	-0,49	0,628
Systemvertrauen	-4,57	0,000
Globales Urteil Systemnutzen	-1,95	0,065

Tab. 25: Ergebnisse t-Tests für gepaarte Stichproben für den Unterschied zwischen ACC und Tempomat

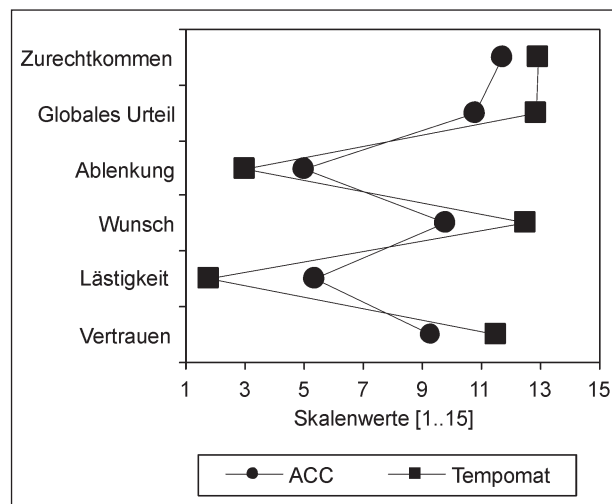


Bild 42: Vergleich der Systembewertung von ACC und Tempomat. Dargestellt sind die Mittelwerte

sich, dass die Fahrt mit dem Tempomat sowohl als beste Fahrt ($p = 0.004$) als auch als angenehmste Fahrt bewertet wurde ($p = 0.001$), wie in Bild 43 dargestellt. Die Fahrt mit ACC ist dagegen aus Sicht der Probanden die Fahrt mit dem geringsten Unfallrisiko ($p = 0.002$).

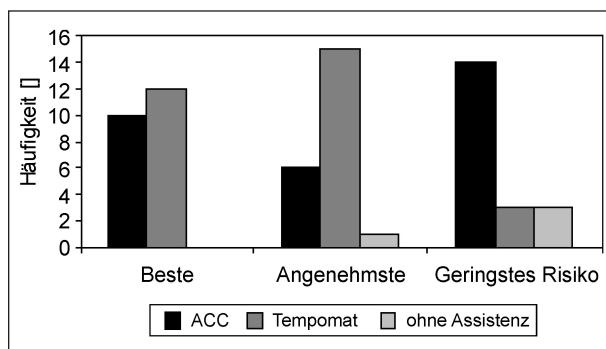


Bild 43: Gesamtbewertung am Ende der Fahrt hinsichtlich positiver Aspekte. Dargestellt sind die Häufigkeiten

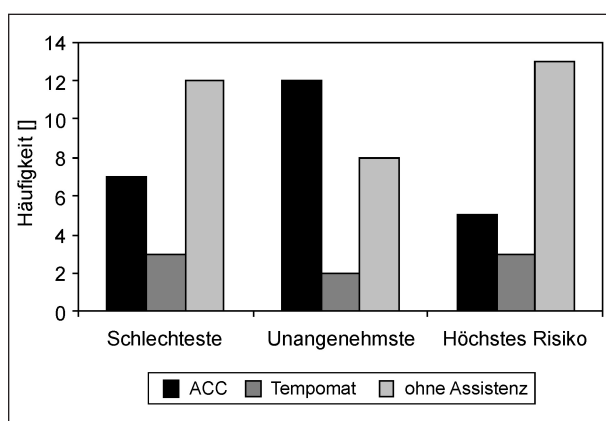


Bild 44: Gesamtbewertung am Ende der Fahrt hinsichtlich negativer Aspekte. Dargestellt sind die Häufigkeiten

Bei den negativen Aspekten (siehe Bild 44) ist die schlechteste Fahrt tendenziell die Fahrt ohne System ($p = 0.062$), die unangenehmste Fahrt die mit ACC ($p = 0.032$). Das Unfallrisiko wird bei der Fahrt ohne System am höchsten eingeschätzt ($p = 0.018$).

5.8 Auswirkungen der Systeme auf die subjektiv eingeschätzte Vigilanz

Nach jedem der drei Streckenabschnitte wurde die subjektive Müdigkeit der Testfahrer erfasst, um den entsprechenden Einfluss der Systeme im zeitlichen Verlauf zu untersuchen. Die entsprechenden Angaben wurden mit einer dreifaktoriellen Varianzanalyse (Messwiederholungsfaktor System: Fahrt ohne System, mit ACC, mit Tempomat; Messwiederholungsfaktor Zeitpunkt der Messung: nach Streckenabschnitt 1, 2, 3; Faktor Systemerfahrung: Novize, Experte) untersucht. Hier ergab sich ein Haupteffekt des Zeitpunktes ($F_{2,40} = 14.14$, $p = 0.000$), allerdings keine Interaktion zwischen System und Zeitpunkt ($F_{4,80} = 0.60$, $p = 0.663$). Die entspre-

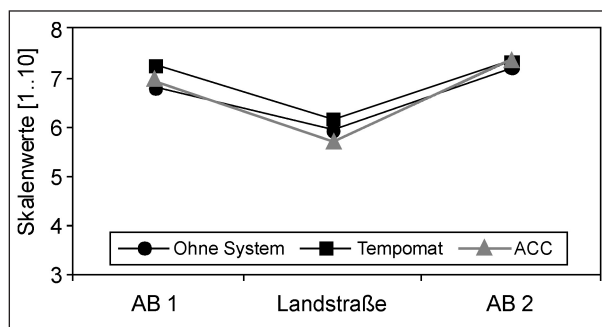


Bild 45: Verlauf der subjektiven Müdigkeit in Abhängigkeit des Systems (ohne System, mit Tempomat, mit ACC) nach den drei Streckenabschnitten (Zeitpunkt 1, 2 und 3). Dargestellt sind die Mittelwerte und Standardfehler

chenden Mittelwerte sind in Bild 45 dargestellt. Unabhängig vom System werden die Probanden zum Zeitpunkt 2 etwas müder, um dann am Ende wieder einen Anstieg der Vigilanz zu erfahren. Dieser ist allerdings nicht vom Einfluss der gefahrenen Strecke zu trennen, da die zweite Erhebung der subjektiven Müdigkeit nach der Landstraßenfahrt passierte.

5.9 Zusammenfassung der subjektiven Bewertung

Bei der subjektiven Einschätzung der Fahrten in Bezug auf Beanspruchung, Sicherheitsempfinden und Geschwindigkeitsverhalten zeigen sich Unterschiede zwischen den Fahrten ohne System und dem Fahren mit Tempomat bzw. ACC:

- Die Fahrt mit Tempomat ist weniger anstrengend als die Fahrt ohne System, wobei die notwendige Konzentration ähnlich ist.
- Der Tempomat wird hinsichtlich Akzeptanz, Nutzen und Systemvertrauen besser bewertet als ACC.
- Im direkten Vergleich am Ende der Untersuchung wird die Fahrt mit Tempomat entsprechend häufig als angenehmste und beste Fahrt ausgewählt.
- Die Fahrt mit ACC benötigt weniger Konzentration, wobei die Beanspruchung nur leicht verringert ist. Hier könnte sich widerspiegeln, dass das System die Längsführung weitgehend übernimmt.
- ACC wird hinsichtlich Akzeptanz, Nutzen und Systemvertrauen schlechter bewertet als der Tempomat, wobei dies auch durch die spezielle Auslegung im Simulator des DLR bedingt sein

könnte. Insgesamt liegen aber die Mittelwerte im mittleren Bereich, d. h., das System wird absolut gesehen nicht negativ beurteilt.

- In der Gesamtbewertung am Ende der Untersuchung wird ACC entsprechend von einer Reihe von Probanden durchaus positiver beurteilt als die Fahrt ohne System. Insbesondere geben die Probanden an, dass mit ACC das Unfallrisiko geringer sei.
- Bezogen auf die Vigilanz der Probanden zeigen sich kein Einfluss des Systems und auch keine Interaktion von System und Zeitpunkt.

6 Auswirkungen des Fahrens mit Tempomat und ACC

Tempomaten sind in Deutschland relativ weit verbreitet. Über verschiedene Fahrzeuge hinweg sind es zwischen 10 und 20 % der Fahrzeuge, die einen Tempomat haben. Bei Kleinwagen sind es unter 10 %, in der Mittelklasse über 20 % und in der oberen Mittelklasse und Oberklasse 50 %. Es ist allerdings schwer zu sagen, wie häufig der Tempomat genutzt wird. Vielfahrer und Männer haben häufiger einen Tempomat im Fahrzeug und es erscheint plausibel, dass diese Personengruppen den Tempomat auch häufiger nutzen. Längere Strecken werden überwiegend auf Landstraßen und Autobahnen zurückgelegt. Dort kann der Tempomat gut genutzt werden.

Die vorliegende Studie kann wenig dazu beitragen, die Nutzungshäufigkeit des Tempomaten zu bestimmen. Bei der Fahrsimulatoruntersuchung mit der Instruktion, den Tempomaten zu nutzen, war mit wenigen Ausnahmen der Tempomat im Mittelwert in 90 % der Zeit in den verschiedenen Situationen auf Landstraße und Autobahn eingeschaltet. Dies galt sowohl für Strecken mit Geschwindigkeitsbegrenzungen (auf denen man dies erwarten würde) als auch für Strecken mit freier Wahl der Geschwindigkeit. Auch bei Folgefahrten auf der Landstraße blieb der Tempomat eingeschaltet – vielleicht, weil das voranfahrende Fahrzeug sehr gleichmäßig seine Geschwindigkeit hielt. Nur in scharfen Kurven mit Geschwindigkeitsbegrenzungen und im Stau wurde das System häufig deaktiviert.

- Es fehlen Studien dazu, wie häufig der Tempomat bei realen Fahrten in natürlicher Umgebung genutzt wird.

- Vermutlich ist dies weit seltener der Fall, als es hier in der Fahrsimulatorstudie geschah.

Eine Ausnahme ist die Studie von FANCHER und Mitarbeitern (FANCHER et al., 1998), die zeigen konnte, dass in den USA der Tempomat bei ca. 10 % der Strecke und 5 % der Fahrzeit genutzt wird. Die Nutzung findet vor allem im Bereich höherer Geschwindigkeiten statt. Entsprechende Studien für den europäischen Raum und für Deutschland fehlen. Bei den gegenüber den USA anderen Verkehrsverhältnissen sind vermutlich eher geringere Nutzungshäufigkeiten zu finden. Diese Zahlen deuten darauf hin, dass Tempomaten bei realen Fahrten seltener genutzt werden als in der hier vorgestellten Fahrsimulatorstudie.

Eine Bewertung, wie sich die Nutzung des Tempomaten auf die Verkehrssicherheit insgesamt auswirkt, ist mit der vorliegenden Studie nicht möglich. Um zum Beispiel abzuschätzen, wie häufig gefährliche Situationen mit Tempomat geschehen, müsste man wissen, (1) wie wahrscheinlich es ist, dass die Tempomat-Nutzung in einer bestimmten Situation zu einer Gefährdung führt, und (2) wie häufig diese Situation mit Tempomat-Nutzung auftritt. Für die Abschätzung dieses zweiten Problemkreises sind andere Studientypen notwendig als die hier durchgeführte experimentelle Studie. Über Befragungen oder Verhaltensbeobachtungen im Realverkehr („Naturalistic Driving Studies“ bzw. „Field Operational Tests“) wären diese Informationen zu gewinnen.

Die vorliegende Studie liefert Informationen zu dem ersten Problemkreis: Wie wahrscheinlich ist es, dass durch Tempomat-Nutzung in bestimmten Situationen eine Gefährdung (oder positive Effekte) entstehen? Die vorliegende Literatur liefert dazu wenig direkte Befunde. Die Studien konzentrieren sich auf ACC, die Erweiterung des Tempomaten um die Abstandsregelung. Über die Verbreitung und Nutzung dieses Systems liegen einige Informationen vor:

- ACC ist deutlich weniger verbreitet als der Tempomat, wobei die genauen Zahlen für Deutschland momentan nicht verfügbar sind. Die Hersteller machen dazu keine Angaben.
- Wenn Fahrer die Wahl zwischen ACC und Tempomat haben, wird ACC bevorzugt und häufiger bzw. länger genutzt als der Tempomat (FANCHER et al., 1998).

Der letzte Effekt ist erklärbar, da der Funktionsumfang von ACC größer ist. ACC regelt auch den Ab-

stand, sodass der Fahrer das System häufiger und länger eingeschaltet lassen kann.

Für ACC liefert die Literaturübersicht eine Reihe von Befunden, die den ersten Aspekt betreffen, die Auswirkungen des Fahrens mit ACC in bestimmten Situationen. Positiv zu vermerken ist, dass mit ACC etwas langsamer gefahren wird und die Geschwindigkeitsbegrenzungen besser eingehalten werden (ABENDROTH, 2001; TÖRNROS, NILSSON, ÖSTLUND & KIRCHER, 2002). Auf der negativen Seite stehen geringere Abstände zu voranfahrenden Fahrzeugen (ABENDROTH, 2001; CHO, NAM & LEE, 2006; HOEDEMAEKER & BROOKHUIS, 1998; TÖRNROS, NILSSON, ÖSTLUND & KIRCHER, 2002) und verlangsamte Reaktionen in Situationen, in denen eine Geschwindigkeitsregulation durch den Fahrer notwendig wird (BULD & KRÜGER, 2002; RUDIN-BROWN & PARKER, 2004). Dies können Situationen sein, wenn das System an (selbst gewählte) Grenzen der Aktuatorik gerät wie bei abruptem Bremsen des Vorderfahrzeugs. Oder es können Grenzen bei der Sensorik sein, da Veränderungen der Geschwindigkeitsbegrenzung, der Straßenzustand und Sichtverhältnisse (Nebel) nicht berücksichtigt werden, obwohl sie eine Geschwindigkeitsanpassung notwendig machen.

Diese Wirkungen sind dadurch zu erklären, dass der Fahrer einen Wechsel der Handlungskontrolle durchzuführen hat. Bei der Fahrt ohne System gibt es bestimmte Hinweisreize, auf die mit einer Geschwindigkeitsanpassung reagiert werden muss. Bei der Fahrt mit System haben die Hinweisreize eine andere Bedeutung. Der Fahrer muss erkennen, dass das System auf diese Hinweisreize nicht reagiert, und entscheiden, das System zu übernehmen. Wenn diese Entscheidung getroffen ist, muss er eingreifen und kann jetzt erst die Geschwindigkeitsanpassung auf die Hinweisreize hin ausführen. Damit ist eine kontrollierte Handlung gefordert, was zusätzliche Zeit benötigt und die fehleranfällig ist.

Weiter gibt es Hinweise darauf, dass die Entlastung durch das ACC und die Übernahme der Längsführung durch das System sich auch negativ auf die Querverführung auswirkten (BULD & KRÜGER, 2002; CHO, NAM & LEE, 2006; HOEDEMAEKER, ANDRIESSEN, WIETHOFF & BROOKHUIS, 1998). Dies könnte ebenfalls über das geringere Situationsbewusstsein erklärt werden, das dazu führt, dass die Fahrer auch weniger auf die Querverführung achten. Hinzu kommt, dass sie sich möglicherweise eher mit Nebentätigkeiten beschäftigen, sodass re-

levante Hinweisreize, bei denen man die Geschwindigkeit anpassen müsste, schlechter wahrgenommen werden und auf sie schlechter reagiert wird.

Allerdings sind diese Effekte bislang nur in Simulatorstudien nachgewiesen worden. Bei Studien im realen Verkehr zeigten sich keine derartigen Effekte. Dies kann darauf hindeuten, dass Fahrer beim realen Fahren vorsichtiger sind als im Simulator. Hinzu kommt, dass sie im Simulator von den Versuchsleitern gebeten werden, sich mit Nebenaufgaben zu beschäftigen, und dies dann häufiger und anders tun als im realen Verkehr. Möglich ist aber auch, dass die Störvarianz in realen Fahrversuchen so groß ist, dass die negativen Effekte in den wenigen vorliegenden Studien (noch) nicht nachgewiesen werden konnten. Psychologisch erscheinen diese negativen Effekte durchaus plausibel und im Einklang mit Handlungstheorien, wie sie zum Beispiel im ersten Kapitel dieses Berichts dargestellt wurden.

Ähnliche Effekte sind auch für den Tempomaten zu vermuten. Sie sollten umso eher auftreten, je besser der Tempomat eine bestimmte Fahrsituation bewältigen kann, also zum Beispiel bei einer Autobahnfahrt mit geringem Verkehr, wenn eine Geschwindigkeitsbegrenzung vorliegt.

Diese Überlegungen bildeten den Hintergrund für die vorliegende Simulatorstudie. Es wurden Szenarien auf der Autobahn und Landstraße dargeboten, die auch mit Tempomat allein gut zu fahren sind, um so eine hohe Nutzungshäufigkeit von Tempomat (und ACC) zu erreichen. Dies ist nach den oben dargestellten Ergebnissen (Nutzungshäufigkeit um 90 % der Zeit) gut gelungen. Es wurden Strecken mit unterschiedlichen Geschwindigkeitsbegrenzungen eingeführt, um so das Geschwindigkeitsverhalten mit den Systemen abbilden zu können. Weiter liefert dies die Möglichkeit, die Reaktionen der Fahrer auf die Veränderungen zu beobachten. Auch eine Teilstrecke mit Nebel wurde realisiert, die eine Anpassung der Geschwindigkeit verlangte. Schließlich wurden auch Nebenaufgaben präsentiert, um die Zuwendung der Fahrer zu diesen Aufgaben bei Fahrten mit Tempomat und ACC zu untersuchen.

Die Ergebnisse bestätigen zunächst die in der Literatur gefundenen positiven Aspekte für ACC und zeigen vergleichbare Effekte für den Tempomat. Sowohl bei Fahrten mit Tempomat als auch mit ACC wird eine geringere maximale Geschwindig-

keit gefahren und die Geschwindigkeitsbegrenzungen werden seltener übertreten. Fahrer nutzen beide Systeme offensichtlich dazu, ihre Geschwindigkeit besser an die gesetzlichen Vorgaben anzupassen, als sie es ohne Systeme tun. Hinzu kommt, dass die Geschwindigkeit mit System homogener ist als ohne, was sich positiv auf Verbrauch und Umwelt auswirken könnte

Direkte negative Effekte im Sinne von verringerten Abständen ließen sich weder für Tempomat noch für ACC nachweisen. Im Gegenteil war mit ACC der minimale Abstand zu voranfahrenden Fahrzeugen größer, was allerdings durch das verwendete System mit fest eingestelltem Abstand begründet sein kann. In den oben dargestellten Studien konnte dagegen der Wunschabstand frei gewählt werden (ABENDROTH, 2001; CHO, NAM & LEE, 2006; HOEDEMAEKER & BROOKHUIS, 1998; TÖRNROS, NILSSON, ÖSTLUND & KIRCHER, 2002).

Die Fahrt mit Tempomat verändert die Abstände nicht. Offensichtlich ist den Fahrern bewusst, dass das System keine Abstände regelt, und ihr Verhalten wird nicht dadurch verändert, dass die Geschwindigkeit die meiste Zeit durch das System geregelt wird.

Die Effekte, die durch einen Wechsel der Handlungskontrolle entstehen, ließen sich allerdings sowohl für Tempomat als auch für ACC zeigen. Wenn Kurven oder Nebel eine Anpassung der Geschwindigkeit erforderten, geschah dies mit beiden Systemen etwa 5 Sekunden später als ohne Systeme. Dies führte in der Simulatorstudie nicht zu kritischen Situationen, zeigt aber, dass diese Veränderung der Handlungskontrolle neue Anforderungen an den Fahrer stellt. Insofern bestätigen sich damit für ACC die in der Literatur gefundenen negativen Effekte im Sinne eines verringerten Situationsbewusstseins. Die Ergebnisse erweitern dies für den Tempomat. Auch dort wurden Indizien für ein verringertes Situationsbewusstsein nachgewiesen.

Hinsichtlich eines möglichen Missbrauchs der Systeme ergaben sich in dieser Studie bei der Bearbeitung von Nebenaufgaben keine deutlichen Hinweise. Weder mit Tempomat noch mit ACC werden mehr Nebenaufgaben bearbeitet. Die negativen Effekte der Nebenaufgaben auf die Spurhaltung sind deutlich, aber in allen Bedingungen in ähnlicher Weise zu finden. Der einzige Hinweis auf eine Gefahr liegt darin, dass die Geschwindigkeit bei der Bearbeitung von Nebenaufgaben mit ACC und Tempomat nicht so stark verringert wird wie bei der

Fahrt ohne Systeme. Ob dies das Unfallrisiko erhöht, ist mit der vorliegenden Studie nicht zu beantworten. Das Fahrverhalten, insbesondere die Spurhaltung, ist in der vorliegenden Studie davon nicht betroffen. Man könnte dies so interpretieren, dass die Fahrer mit Tempomat und ACC bei der Bearbeitung von Nebenaufgaben etwas schneller fahren können, weil diese Systeme die Geschwindigkeitsregulation übernehmen.

Von der physiologischen Seite her scheint die Fahrt auf der Landstraße mit Tempomat anstrengender zu sein. Vermutlich würden die Fahrer bei natürlichen Fahrten hier den Tempomat seltener nutzen, da häufige Anpassungen notwendig sind. Auf der Autobahn zeigen sich keine deutlichen entlastenden Wirkungen der Systeme, obwohl die physiologischen Parameter durchaus geeignet sind, Unterschiede zwischen den Situationen abzubilden. Dies ist vermutlich durch Bodeneffekte zu erklären. In den hier realisierten, relativ einfachen Fahrsituationen, die typisch sind für den Einsatz von ACC und Tempomat, sind die Fahrer vermutlich auch ohne System so wenig beansprucht, sodass eine weitere Entlastung durch die Systeme wenig deutlich wird.

Subjektiv wird eine Entlastung allerdings durchaus wahrgenommen. Die Fahrer beurteilten beide Systeme positiv und waren der Meinung, dass die Fahrt dadurch weniger anstrengend und sicherer wird. Der Tempomat wurde insgesamt besser beurteilt als ACC, wobei dies an der Realisierung im Fahrsimulator liegen mag, wo die durch ACC ausgelösten Verzögerungen bei der Abstandsregelung auch aufgrund der Bewegungssimulation teilweise negativ erlebt wurden. Eine erhöhte Müdigkeit durch die Systeme wurde von den Fahrern nicht angegeben.

Insgesamt sind Tempomat und ACC nach dieser Fahrsimulatorstudie hinsichtlich des Geschwindigkeitsaspekts eher positiv zu bewerten. Mit beiden Systemen werden Geschwindigkeitsbegrenzungen besser eingehalten und geringere maximale Geschwindigkeiten erreicht. Das liegt vermutlich daran, dass der Fahrer hier jeweils eine bewusste Entscheidung treffen muss, welche Geschwindigkeit er einstellt, und diese dann durch die Systeme beibehalten wird. Bei Fahrten ohne System wird dagegen die Geschwindigkeit möglicherweise automatisch an die des umgebenden Verkehrs angepasst, sodass häufigere Übertretungen und höhere maximale Geschwindigkeiten entstehen. Wenn

diese Überlegung zutrifft, dann sollte dieser positive Effekt auch in realen Fahrten zu finden sein. Für ACC waren auch in Feldstudien entsprechende Hinweise gefunden worden (z. B. ABENDROTH, 2001), sodass dies vermutlich auch für den Tempomat gilt.

Allerdings verzögert sich die Geschwindigkeitsanpassung an die situativen Bedingungen, die durch die Systeme nicht berücksichtigt werden. Für ACC zeigte sich sogar insgesamt eine höhere Geschwindigkeit bei Nebel, was vermutlich das Systemvertrauen widerspiegelt. Dieses Ergebnis steht im Einklang zur Literatur, wo sich ebenfalls eine Reihe von Hinweisen auf ein vermindertes Situationsbewusstsein gefunden hatten (BULD & KRÜGER, 2002; RUDIN-BROWN & PARKER, 2004). Die hier dargestellte Studie zeigt, dass dies in ähnlicher Weise auch für den Tempomat gilt. In der Literatur waren die verzögerten Reaktionen auch bei kritischen Situationen gefunden worden, was hier bei einem plötzlichen Stau nicht bestätigt werden konnte. Dieser war aber in gewissem Maße vorhersehbar. Möglicherweise wären bei plötzlich und unerwartet auftretenden Ereignissen negative Effekte aufgetreten.

Insgesamt erscheint aus dieser Perspektive der Tempomat eher bedenklich als ACC, da ein plötzliches Bremsen eines Vorderfahrzeugs nicht vom System erkannt wird und der Fahrer damit mit Tempomat häufiger in Situationen gerät, in denen er reagieren muss. ACC würde diese Situationen erkennen, die Geschwindigkeit reduzieren oder eine Übernahmeaufforderung geben, wenn der Fahrer zusätzlich eingreifen sollte. Bei ACC sind wiederum weitere Situationen problematisch, die durch das System nicht erkannt werden, wie stationäre Hindernisse, Geschwindigkeitsbegrenzungen oder Veränderungen des Straßenzustands, die aber eine Veränderung der Geschwindigkeit erfordern.

Von der technischen Seite ist es daher sinnvoll, dass Veränderungen von Geschwindigkeitsbegrenzungen, des Straßenzustands und der Sichtbedingungen von den Systemen berücksichtigt werden sollten und die Geschwindigkeit automatisch an diese angepasst werden sollte. Auf diese Weise wären diese Verzögerungen bei notwendigem Eingriff des Fahrers, die sehr deutlich wurden, zu vermeiden.

Allerdings würde man vermuten, dass dann der Fahrer noch weniger auf entsprechende Reize der Umwelt achtet, da er davon ausgeht, dass das System die Geschwindigkeitsanpassung übernimmt.

Dies könnte zu einem insgesamt verminderten Situationsbewusstsein führen, sodass der Fahrer, wenn er selbst eingreifen muss, dies nicht mehr so effektiv tun kann. Hier liegen vermutlich Gefahren dieser und zukünftiger Systeme.

Insgesamt zeigt diese Studie im Einklang und in Erweiterung der vorliegenden Literatur, dass Systeme, die Teile der Fahraufgabe übernehmen, neben positiven Effekten (hier: Geschwindigkeitsreduktion) auch Verhaltenswirkungen nach sich ziehen, die in bestimmten Situationen gefährlich werden könnten. Wenn diese im realen Verkehr bei Nutzung der Systeme häufig auftauchen, könnte dies negative Effekte auf die Verkehrssicherheit haben. Angesichts dieser Möglichkeit besteht weiterer dringender Forschungsbedarf, um Hinweise für die weitere Entwicklung dieser Systeme zu geben, mit denen der Fahrer zwar entlastet wird, sich dies aber zumindest nicht negativ auf die Verkehrssicherheit auswirkt. Dabei müssten folgende zentralen Aspekte untersucht werden:

- Reduktion des Situationsbewusstseins durch den Tempomat, insbesondere bei komplexen Situationen, in denen plötzlich hohe Anforderungen an den Fahrer gestellt werden, z. B. plötzlich auftauchende Hindernisse, unerwartete Verzögerungen von Führungsfahrzeugen.
- Effekte von ACC in Situationen, die eine Geschwindigkeitsanpassung erfordern, vom System aber nicht berücksichtigt werden, d. h. eine Erweiterung um Szenarien, die dem Nebel in der hier dargestellten Studie entsprechen.
- Erweiterung der Befunde von der Fahrsicherheit zur Verkehrssicherheit, indem im Feldversuch auch die Nutzungshäufigkeit und die Nutzungsumstände berücksichtigt werden.
- Mögliche negative Verhaltenswirkungen von erweiterten Systemen der Geschwindigkeitshaltung, die auch Geschwindigkeitsbegrenzungen, Straßenverlauf, Verkehrsdichte, Sichtbedingungen und Straßenzustand berücksichtigen.

Der erste Aspekt betrifft die Validierung der Bedenken gegenüber dem Tempomat, die sich durch die Ergebnisse dieser Simulatorstudie ergeben. Angesichts der relativ großen Verbreitung von Tempomaten wären hier weitere Studien mit komplexeren Situationen notwendig. Gleiches gilt für ACC, das zunehmend häufiger in Fahrzeugen zu finden ist und dort genutzt wird. Durch die Literaturbefunde

und die eigenen Studien verdichtet sich der Eindruck, dass dies insbesondere auf Situationsbewusstsein negative Effekte hat, die gezielt weiter geprüft werden sollten. Neben Simulatorstudien sollten auch Feldstudien durchgeführt werden, in denen die Fahrer selbst bestimmen können, in welchen Situationen sie die Systeme einsetzen. Die Simulatorstudien erlauben es sehr gut, die Verhaltenswirkungen bei Systemnutzung zu beschreiben. Um die Auswirkung auf die Verkehrssicherheit abzuschätzen, muss zusätzlich erfasst werden, in welchen Situationen die Systeme wie häufig genutzt werden. Dies ist in entsprechenden Feldstudien möglich.

Allerdings geht die technische Entwicklung dieser Systeme stetig weiter. Zukünftige Systeme werden weitere Informationen für die Geschwindigkeitsregulation einbeziehen und entsprechende Eingriffe vornehmen, also z. B. bei Nebel langsamer fahren. Von den verkehrspsychologischen Modellen her erscheint es wahrscheinlich, dass dies das Situationsbewusstseins des Fahrers noch weiter reduzieren wird. Hier sind dringend weitere Studien notwendig.

7 Literatur

- ABENDROTH, B. (2001): Gestaltungspotenziale für ein Pkw-Abstandsregelsystem unter Berücksichtigung verschiedener Fahrertypen: Ergonomia Verlag
- AUCKLAND, R. A., MANNING, J. W., CARSTEN, O. M. J. & JAMSON, A. H. (2008): Advanced Driver Assistance Systems: Objective and subjective performance evaluation. *Vehicle System Dynamics*, 46, 883-897
- BAREKET, Z., FANCHER, P. H. P., LEE, K. & ASSAF, C. A. (2003): Methodology for Assessing Adaptive Cruise Control Behaviour. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 4 (3), 123-131
- BORK, M., HAMANN, C. D. & SCHUBERT, E. (1994): Automatic Distance Keeping: A Vehicle Comfort System for Improving Safety? Paper presented at the Fourteenth International Technical Conference in Enhanced Safety of Vehicles, Washington
- BROOK-CARTER, N., PARKES, A. M., BURNS, P. & KERSLOOT, T. (2002): An investigation of the effect of an urban adaptive cruise control (ACC) system on driving performance. Paper presented at the 9th World Congress on Intelligent Transport Systems, Chicago, Illinois
- BULD, S. & KRÜGER, H.-P. (2002): Wirkungen von Assistenz und Automation auf Fahrerzustand und Fahrsicherheit - Projekt EMPHASIS (Effort-Management and Performance Handling in sicherheitsrelevanten Situationen). Würzburg
- CHO, J. H., NAM, H. K. & LEE, W. S. (2006): Driver Behaviour with Adaptive Cruise Control. *International Journal of Automotive Engineering*, 7 (5), 603-608
- FANCHER, P., ERVIN, R., SAYER, J., HAGAN, M., BOGARD, S., BAREKET, Z., et al. (1998): Intelligent Cruise Control Field Operational Test (final report) (No. DOT HS 808 849): Springfield, Virginia: National Technical Information Service
- FASTENMEIER, W., STADLER, P. & LERNER, G. (1995): Situationsbezogene Fahrerunterstützung durch AICC, Autofahrer und Verkehrssituationen: Neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme. *Mensch-Fahrzeug-Umwelt*, Band 33 (pp. 181-197): Köln: Verlag TÜV, Bonn: Dt. Psychologen Verlag
- GOODRICH, M. A., BOER, E. R. & INOUE, H. (1999): A characterization of dynamic human braking behaviour with implications for ACC design, *Proceedings IEEE/IEEEJ/JSAI International Conference on Intelligent Transportation Systems (1999)* (pp. 964-969): Tokyo
- GSTALTER, H. & FASTENMEIER, W. (1992): Safety impacts of in-car navigation systems. Paper presented at the Proceedings of the 4th Workshop of ICTCT in Vienna
- HAN, D. H., YI, K. S., LEE, J. K., KIM, B. S. & YI, S. (2006): Design and Evaluation of Intelligent Vehicle Cruise Control Systems Using a Vehicle Simulator. *International Journal of Automotive-Technology*, 7 (3), 377-383
- HOCKEY, G. R. J. (1997): Compensatory Control in the regulation of human performance under stress and high workload: A cognitive-energetical framework. *Biological Psychology*, 45, 73-93
- HOEDEMAEKER, M., ANDRIESSEN, J. H. T. H., WIETHOFF, M. & BROOKHUIS, K. (1998):

- Effects of driving style on headway preference and acceptance of an adaptive cruise control (ACC). *Journal of International Association of Traffic and Safety Sciences*, 22 (2), 29-36
- HOEDEMAEKER, M. & BROOKHUIS, K. A. (1998): Behavioural adaptation to driving with an adaptive cruise control (ACC). *Transportation Research, Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 1 (2), 95-106
- ISHIDA, S., TANAKA, J., KONDO, S. & KAWAGOE, H. (2000): Evaluation of Driver Assistance System. Paper presented at the ITS Conference, Turin
- KAZI, T. A., STANTON, N. A., WALKER, G. & YOUNG, M. S. (2007): Designer driving: drivers' conceptual models and level of trust in adaptive cruise control. *International Journal of Vehicle Design*, 45 (3), 339-360
- KELBER, C. R., WEBBER, D., KLEIN GOMES, G., LOHMANN, M. A., RODRIGUES, M. S. & LEDUR, D. (2004): Active Steering Unit with integrated ACC for X-by-Wire vehicles using a joystick as HMI. Paper presented at the Intelligent Vehicles Symposium, IEEE, Parma
- KITTERER, H., BREUER, K., ZIELKE, F. & SAND-KÜHLER, D. (2004): Rechnet sich ACC im Fernverkehrs-Lkw? Eine Antwort. Und methodische Ansätze zu ihrer Überprüfung. 13. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik 2004, 1501-1527
- KÖNIG, W., WEIß, K. E. & MAYSER, C. (2002): Situations-angepasste und Nutzer-Typ-zentrierte Optimierung von Systemen zur Fahrerunterstützung. Projektabschlussbericht S.A.N.T.O.S. 283
- LEE, J. D., McGEHEE, V., BROWN, T. L. & NAKAMOTO, J. (2007): Driver sensitivity to brake pulse duration and magnitude. *Ergonomics*, 50 (6), 828-836
- LEHMER, M. J., BROWN, V., CARNELL, R., CHRISTIAEN, A. C., MCMILLAN, N., ORBAN, J. et al. (2005): Volvo Trucks Field Operational Test: Evaluation of Advanced Safety Systems for Heavy Truck Tractors (Final Report): Volvo Trucks North America Incorporated
- MARBERGER, C. (Ed.) (2007): Nutzerseitiger Fehlgebrauch von Fahrerassistenzsystemen. Bergisch Gladbach: Wirtschaftsverlag NW
- MATTES, S. (2003): The lane change task as a tool for driver distraction evaluation. In: H. STRASSER, H. RAUSCH & H. BUBB (Eds.), *Quality of work and products in enterprises of the future*. Stuttgart: Ergonomia Verlag
- MARSDEN, G., McDONALD, M. & BRACKSTONE, M. (2001): Towards an understanding of adaptive cruise control. *Transportation Research, Part C: Emerging Technologies*, 9 (1), 33-51
- NHTSA (2005): Automotive Collision Avoidance System Field Operational Test (Final Program Report No. DOT HS 809 886): National Highway Traffic Safety Administration
- NILSSON, L. (1995): Safety effects of adaptive cruise controls in critical traffic situations. *VERTIS (Vehicles, Road and Traffic Intelligence Society)*, 3, 1254-1259
- NIRSCHL, G. & KOPF, M. (1997): Untersuchung des Zusammenwirkens zwischen dem Fahrer und einem ACC-System in Grenzsituationen (Vol. 1317). München: VDI-Berichte 1317
- OHNO, H. (2001): Analysis and modeling of human driving behaviors using adaptive cruise control. *Applied Soft Computing*, 1 (3), 237-243
- PAULIG, J. (2004): Längsregelung beim Fahren im Stau. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Würzburg
- PETERS, B. (2000): Adaptation Evaluation. An Adaptive Cruise Control (ACC) System Used by Drivers with Lower Limb Disabilities. *International Association of Traffic & Safety Sciences*, 25 (1), 51-60
- RAJAONAH, B., TRICOT, N., ANCEAUUX, F. & MILLOT, P. (2008): The role of intervening variables in driver ACC-cooperation. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66, 185-197
- RAKHA, H., HANKEY, J. M., PATTERSON, A. & van AERDE, M. (2001): Field Evaluation of Safety Impacts of Adaptive Cruise Control. *ITS Journal*, 6, 225-259
- ROBINSON, M. & CARTER, M. (1997): Identification of driving states for the evaluation of an intelligent cruise control system. Paper presented at the IEEE Conference on intelligent Transportation Systems

- RUDIN-BROWN, C. M. & PARKER, H. A. (2004): Behavioural adaptation to adaptive cruise control (ACC): implications for preventive strategies. *Transportation Research, Part F*, 7 (2), 59-76
- SAYER, J. R., MEFFORD, M. L., SHIRKEY, K. & LANTZ, J. (2005): Driver Distraction: A Naturalistic Observation of Secondary Behaviors with the Use of Driver Assistance Systems. Paper presented at the Driving Assessment 2005: 3rd International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design
- SEPPELT, B. D. & LEE, J. D. (2007): Making adaptive cruise control (ACC) limits visible. *International Journal of Human-Computer Studies*, 65 (3), 192-205
- STANTON, N. A. & YOUNG, M. S. (1998): Vehicle Automation and driving performance. *Ergonomics*, 41 (7), 1014-1028
- STANTON, N. A. & YOUNG, M. S. (2000): The role of mental models in using adaptive cruise control. Paper presented at the IEA 2000/HFES 2000 proceedings
- STANTON, N. A. & YOUNG, M. S. (2005): Driver behaviour with adaptive cruise control. *Ergonomics*, 48 (10), 1294-1313
- TÖRNROS, J., NILSSON, L., ÖSTLUND, J. & KIRCHER, A. (2002): Effects of ACC on Driver Behaviour, Workload and Acceptance in Relation to Minimum Time Headway. Paper presented at the 9th World Congress on Intelligent Transport Systems, Chicago
- VAHIDI, A. & ESKANDARIAN, E. (2003): Research Advantages in Intelligent Collision Avoidance and Adaptive Cruise Control. *IEEE Transactions on Intelligent Transportations Systems*, 4 (3), 143-153
- VAN DER HORST, R. H. J. (1999): Intelligent speed control and effects on driving behaviour. Paper presented at the ADAS: Advanced Driver Assistance Systems
- WARD, N. J. (2000): Automation of Task Processes: An Example of Intelligent Transportation Systems. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 10 (4), 395-408
- WEINBERGER, M. (2001): Der Einfluss von Adaptive Cruise Control Systemen auf das Fahrerverhalten: Aachen: Shaker Verlag
- WEINBERGER, M., WINNER, H. & BUBB, H. (2001): Adaptive cruise control field operational test – the learning phase. *JSAE Review*, 22 (4), 487-494
- WINNER, H., WITTE, S., UHLER, W. & LICHTENBERG, B. (1995): System Aspects of Adaptive Cruise Control Systems. *Systems development and co-design in automotive electronics*, 29-40
- YOUNG, M. S. & STANTON, N. A. (2004): Taking the load off: investigations of how adaptive cruise control affects mental workload. *Ergonomics*, 47 (9), 1014-1035
- YOUNG, M. S. & STANTON, N. A. (2007): Back to the future: Brake reaction times for manual and automated vehicles. *Ergonomics*, 50 (1), 46-58
- ZHENG, P. & McDONALD, M. (2005): Manual vs. adaptive cruise control – Can driver's expectation be matched? *Transportation Research, Part C: Emerging Technologies*, 13 (5-6), 421-431

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

1995

- F 10: Einsatz der Gasentladungslampe in Kfz-Scheinwerfern
Damasky € 12,50
- F 11: Informationsdarstellung im Fahrzeug mit Hilfe eines Head-Up-Displays
Mutschler € 16,50
- F 12: Gefährdung durch Frontschutzbügel an Geländefahrzeugen
Teil 1: Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern
Zellmer, Schmid € 12,00
- Teil 2: Quantifizierung der Gefährdung von Fußgängern
Zellmer € 12,00
- F 13: Untersuchung rollwiderstandsarmer Pkw-Reifen
Sander € 11,50

1996

- F 14: Der Aufprall des Kopfes auf die Fronthaube von Pkw beim Fußgängerunfall – Entwicklung eines Prüfverfahrens
Glaeser € 15,50
- F 15: Verkehrssicherheit von Fahrrädern
Teil 1: Möglichkeiten zur Verbesserung der Verkehrssicherheit von Fahrrädern
Heinrich, von der Osten-Sacken € 22,50
- Teil 2: Ergebnisse aus einem Expertengespräch „Verkehrssicherheit von Fahrrädern“
Nicklisch € 22,50
- F 16: Messung der tatsächlichen Achslasten von Nutzfahrzeugen
Sagerer, Wartenberg, Schmidt € 12,50
- F 17: Sicherheitsbewertung von Personenkraftwagen – Problem-analyse und Verfahrenskonzept
Grunow, Heuser, Krüger, Zangemeister € 17,50
- F 18: Bremsverhalten von Fahrern von Motorrädern mit und ohne ABS
Präckel € 14,50
- F 19: Schwingungsdämpferprüfung an Pkw im Rahmen der Hauptuntersuchung
Pullwitt € 11,50
- F 20: Vergleichsmessungen des Rollwiderstands auf der Straße und im Prüfstand
Sander € 13,00
- F 21: Einflußgrößen auf den Kraftschluß bei Nässe – Untersuchungen zum Einfluß der Profiltiefe unterschiedlich breiter Reifen auf den Kraftschluß bei Nässe
Fach € 14,00

1997

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

1998

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

1999

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

2000

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

2001

- F 33: Sicherheitsbelange aktiver Fahrdynamikregelungen
Gaupp, Wobben, Horn, Seemann € 17,00
- F 34: Ermittlung von Emissionen im Stationärbetrieb mit dem Emissions-Mess-Fahrzeug
Sander, Bugsel, Sievert, Albus € 11,00
- F 35: Sicherheitsanalyse der Systeme zum Automatischen Fahren
Wallentowitz, Ehmanns, Neunzig, Weilkes, Steinauer, Bölling, Richter, Gaupp € 19,00
- F 36: Anforderungen an Rückspiegel von Krafträdern
van de Sand, Wallentowitz, Schrüllkamp € 14,00
- F 37: Abgasuntersuchung - Erfolgskontrolle: Ottomotor – G-Kat
Afflerbach, Hassel, Schmidt, Sonnborn, Weber € 11,50
- F 38: Optimierte Fahrzeugfront hinsichtlich des Fußgängerschutz
Friesen, Wallentowitz, Philipps € 12,50

2002

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

2003

- F 41: Abgasuntersuchung: Dieselfahrzeuge
Afflerbach, Hassel, Mäurer, Schmidt, Weber € 14,00

- F 42: Schwachstellenanalyse zur Optimierung des Notausstiegssystems bei Reisebussen
Krieg, Rüter, Weißgerber € 15,00
- F 43: Testverfahren zur Bewertung und Verbesserung von Kinderschutzsystemen beim Pkw-Seitenaufprall
Nett € 16,50
- F 44: Aktive und passive Sicherheit gebräuchter Leichtkraftfahrzeuge
Gail, Pastor, Spiering, Sander, Lorig € 12,00

2004

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

2005

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

2006

- F 56: Untersuchung von Verkehrssicherheitsaspekten durch die Verwendung asphärischer Außenspiegel
Bach, Rüter, Carstengerdes, Wender, Otte € 17,00
- F 57: Untersuchung von Reifen mit Notlaufeigenschaften
Gail, Pullwitt, Sander, Lorig, Bartels € 15,00
- F 58: Bestimmung von Nutzfahrzeugemissionsfaktoren
Steven, Kleinebrahm € 15,50
- F 59: Hochrechnung von Daten aus Erhebungen am Unfallort
Hautzinger, Pfeiffer, Schmidt € 15,50
- F 60: Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme aus Sicht der Verkehrssicherheit Vollrath, Briest, Schießl, Drewes, Becker € 16,50

2007

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

- F 62: Einfluss des Versicherungs-Einstufungstests auf die Belange der passiven Sicherheit
Rüter, Zopke, Bach, Carstengerdes € 16,50
- F 63: Nutzerseitiger Fehlgebrauch von Fahrerassistenzsystemen
Marberger € 14,50
- F 64: Anforderungen an Helme für Motorradfahrer zur Motorradsicherheit
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Schüler, Adolph, Steinmann, Ionescu € 22,00
- F 65: Entwicklung von Kriterien zur Bewertung der Fahrzeugbeleuchtung im Hinblick auf ein NCAP für aktive Fahrzeugsicherheit
Manz, Kooß, Klingler, Schellinger € 17,50

2008

- F 66: Optimierung der Beleuchtung von Personenwagen und Nutzfahrzeugen
Jebas, Schellinger, Klingler, Manz, Kooß € 15,50
- F 67: Optimierung von Kinderschutzsystemen im Pkw
Weber € 20,00
- F 68: Cost-benefit analysis for ABS of motorcycles
Baum, Westerkamp, Geißler € 20,00
- F 69: Fahrzeuggestützte Notrufsysteme (eCall) für die Verkehrssicherheit in Deutschland
Auerbach, Issing, Karrer, Steffens € 18,00
- F 70: Einfluss verbesserter Fahrzeugsicherheit bei Pkw auf die Entwicklung von Landstraßenunfällen
Gail, Pöppel-Decker, Lorig, Eggers, Lerner, Ellmers € 13,50

2009

- F 71: Erkennbarkeit von Motorrädern am Tag – Untersuchungen zum vorderen Signalbild
Bartels, Sander € 13,50
- F 72: 3rd International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 5th/6th September 2008 at Hannover Medical School € 29,50
- F 73: Objektive Erkennung kritischer Fahrsituationen von Motorrädern
Seiniger, Winner € 16,50

2010

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

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

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

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.