

# **Untersuchung des Einflusses des horizontalen Sichtbereichs eines ACC-Sensors auf die Systemperformance**

Vom Fachbereich Maschinenbau  
an der Technischen Universität Darmstadt  
zur Erlangung des Grades eines  
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)  
genehmigte

## **D i s s e r t a t i o n**

vorgelegt von

**Dipl.-Ing. Steffen Alexander Luh**

aus Hadamar

Erstreferent: Prof. Dr. rer. nat. Hermann Winner

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Kurt Landau

Tag der Einreichung: 31. Oktober 2006

Tag der mündlichen Prüfung: 19. Dezember 2006

Darmstadt 2006



## Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Fahrzeugtechnik (FZD) der Technischen Universität Darmstadt.

Herrn Prof. Dr. rer. nat. Hermann Winner, dem Leiter des Fachbiets Fahrzeugtechnik, möchte ich besonders danken für die wissenschaftliche Betreuung meiner Arbeit. Ich schätze sehr, dass er mir sein Vertrauen geschenkt und die Gelegenheit zur Anfertigung dieser Arbeit gegeben hat. Die kritischen fachlichen Diskussionen mit ihm gaben mir viele Anregungen und Motivation, was sehr zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat. Die von ihm gewährten Freiheiten und die damit mögliche selbstbestimmte Arbeitsweise habe ich sehr genossen.

Ich danke sehr herzlich Herrn Prof. em. Dr.-Ing. Bert Breuer, dem ehemaligen Leiter des Fachbiets Fahrzeugtechnik, für seine kritischen Fragen und Hinweise in den Doktorandenseminaren.

Herrn Prof. em. Dr.-Ing. Kurt Landau, dem ehemaligen Leiter des Instituts für Arbeitswissenschaft, danke ich für die freundliche Übernahme des Korreferats und die angenehme Zusammenarbeit während des gemeinsam mit dem Institut für Arbeitswissenschaft durchgeführten Forschungsprojekts. In diesem Zusammenhang möchte ich mich bei meinen beiden Projektmitstreitern Frau Dr. Muriel Didier und Herrn Dr. Norbert Fecher herzlich für die gute Zusammenarbeit bedanken.

Der Firma Robert Bosch GmbH in Stuttgart danke ich sehr herzlich für die Finanzierung meines Forschungsprojekts. Ich danke Herrn Dr. Frank von Zeppelin für die überaus kompetente fachliche Begleitung seitens des Projektpartners und die sehr angenehme Zusammenarbeit, den Herren Dr. Albrecht Irion und Dr. Thilo Leineweber, die das Forschungsprojekt zusammen mit Herrn Professor Winner maßgeblich ins Leben gerufen und nach besten Kräften mit Rat und Tat unterstützt haben.

Besonderer Dank gilt ebenso meinen Studenten, die als Studien- oder Diplomarbeiter sowie als Hilfswissenschaftler großen Beitrag zum Gelingen dieser Arbeit geleistet haben.

Allen Mitarbeitern von FZD, einschließlich des Sekretariats sowie der mechanischen und elektrotechnischen Werkstatt um Robert Korndörfer und Harald Bathke, danke ich herzlichst für die außergewöhnlich kollegiale Arbeitsatmosphäre, geprägt von großer Menschlichkeit, Fachkompetenz und Verlässlichkeit. Ich habe bei FZD viele Freunde gewonnen.

Allen mir nahe stehenden Menschen bin ich dankbar für ihr Verständnis und die Rücksichtnahme während der Erstellung dieser Arbeit. Bei meinen Eltern, die mir meine Ausbildung ermöglicht und meinen Berufsweg stets unterstützt und interessiert begleitet haben, bedanke ich mich herzlich.

Mein besonderer Dank gilt meiner lieben Frau Eva, die während der letzten vier Jahre zeitlich auf Vieles zu verzichten sowie Geduld und Verständnis aufzubringen hatte.



# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>III</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>V</b>
<b>Formelzeichen und Abkürzungen</b>	<b>VIII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangslage und Motivation der Fragestellung	2
1.2 Allgemeine Zielsetzung	3
<b>2 Begriffe und Definitionen</b>	<b>4</b>
2.1 Winkelbereich	4
2.2 Situationsklassifizierung und Begriffsdefinition	4
<b>3 ACC-Systembeschreibung</b>	<b>10</b>
3.1 Definition	10
3.2 Funktionsweise	10
<b>4 Stand der Forschung und Technik</b>	<b>13</b>
4.1 Allgemeine Anforderungen an ACC-Abstandssensoren	13
4.2 Recherche des Sichtbereichs von ACC-Systemen	15
4.3 Einfluss verschiedener Sichtbereiche	16
4.3.1 Sichtbereichsansatz über die Betrachtung des Kurvenradius	16
4.3.2 Sichtbereichsansatz über die Betrachtung von Fahrsituationen	19
4.3.3 Sichtbereichsansatz über die Betrachtung des Manövrierraumes	23
4.3.4 Ansätze zur Bestimmung der benötigten Sensorreichweite	24
4.3.5 Fazit	26
4.4 Zielauswahl	27
4.4.1 Funktionsweise der Zielobjekterkennung	27
4.5 Bewertungsverfahren	30
4.5.1 Der Benchmarking-Ansatz	30
<b>5 Methodik</b>	<b>32</b>
5.1 Versuchskonzept	32
5.1.1 Versuchsstrecke und –ablauf	33
5.1.2 Probandenkollektiv	37
5.1.3 Erhebungsmethodik	40
5.1.4 Messtechnik und Versuchsfahrzeug	44

<b>5.2</b>	<b>Auswertungsmethodik</b>	<b>47</b>
5.2.1	Auswertungssoftware	47
5.2.2	Datenaufbereitung	47
5.2.3	Videoauswertung	47
5.2.4	Statistische Methoden	48
5.2.5	Validierung des Versuchskonzepts	48
<b>6</b>	<b>Auswertung und Diskussion der Ergebnisse</b>	<b>51</b>
<b>6.1</b>	<b>Beschreibung des Probandenkollektivs</b>	<b>51</b>
<b>6.2</b>	<b>Subjektiveindruck der Probanden</b>	<b>53</b>
6.2.1	Folgefahrten in Kurven	54
6.2.2	Annäherungsfahrten	61
6.2.3	Einschersituation	67
6.2.4	Beschleunigungsverhalten	69
6.2.5	Bremsverhalten	72
6.2.6	Fazit	75
<b>6.3</b>	<b>Ergebnisse zu den objektiven Kriterien</b>	<b>77</b>
6.3.1	Kurvenabschnitt	77
6.3.2	Einschersituation	83
6.3.3	Ausschersituation	87
6.3.4	Fahreingriffe	90
6.3.5	Fazit	93
<b>6.4</b>	<b>Funktionsstörungen</b>	<b>95</b>
<b>6.5</b>	<b>Fahrschlauch</b>	<b>98</b>
<b>6.6</b>	<b>Vergleich objektiver Messdaten mit subjektiver Probandenbewertung</b>	<b>122</b>
6.6.1	Folgefahrten in Kurven	122
6.6.2	Annäherungsfahrten in Kurven	123
6.6.3	Einschersituationen	123
6.6.4	Ausschersituationen	124
<b>6.7</b>	<b>Zusammenstellung der Ergebnisse</b>	<b>125</b>
<b>7</b>	<b>Gültigkeit und Übertragbarkeit der Ergebnisse</b>	<b>129</b>
<b>8</b>	<b>Fazit, Empfehlungen und Ausblick</b>	<b>131</b>
<b>8.1</b>	<b>Subjektiveindruck der Probanden</b>	<b>131</b>
<b>8.2</b>	<b>Kurvensituationen</b>	<b>132</b>
<b>8.3</b>	<b>Einschersituationen</b>	<b>133</b>
<b>8.4</b>	<b>Ausschersituationen</b>	<b>134</b>

<b>8.5</b>	<b>Fahrereingriffe</b>	<b>134</b>
<b>8.6</b>	<b>Funktionsstörungen</b>	<b>135</b>
<b>8.7</b>	<b>Fahrschlauchuntersuchung</b>	<b>135</b>
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>137</b>
<b>10</b>	<b>Anhang</b>	<b>139</b>
<b>10.1</b>	<b>Recherche Sichtbereiche ACC-Sensoren</b>	<b>139</b>
<b>10.2</b>	<b>Hypothesenbildung</b>	<b>141</b>
<b>10.3</b>	<b>Erhebungsmethodik</b>	<b>145</b>
<b>10.4</b>	<b>Statistische Methoden</b>	<b>148</b>
10.4.1	Allgemeines zu statistischen Testverfahren	148
10.4.2	Signifikanztests	149
10.4.3	Deskriptive Statistik	151
10.4.4	Auswertungsmethodik Fragebogen	154
<b>10.5</b>	<b>Charakteristik Versuchsstrecke</b>	<b>156</b>
<b>10.6</b>	<b>Ergebnisse Subjektiveindruck der Probanden</b>	<b>157</b>
10.6.1	Annäherungsfahrt	157
10.6.2	Einschersituation	158
10.6.3	Beschleunigungsverhalten	160
10.6.4	Bremsverhalten	161
10.6.5	Funktionsstörungen	163
10.6.6	Verbesserungen bzgl. des ACC-Systemverhaltens	164
<b>10.7</b>	<b>Ergebnisse objektiver Messdaten Probandenuntersuchung</b>	<b>166</b>
10.7.1	Kurvenverhalten	166
10.7.2	Annäherungsfahrten	168
10.7.3	Einscher-/ Ausschersituationen	169
<b>10.8</b>	<b>Ergebnisse der Fahrschlauchuntersuchung</b>	<b>174</b>
10.8.1	Verteilung und Häufigkeiten der Erkennungen (alle Teilkategorien)	174
<b>11</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>175</b>

## Formelzeichen und Abkürzungen

### Lateinische Buchstaben

Zeichen	Einheit	Bezeichnung
$a$	$m^2$	Einheitsklothoidenparameter
$A$	$m^2$	Klothoidenparameter
$a_x$	$\frac{m}{s^2}$	Längsbeschleunigung
$a_y$	$\frac{m}{s^2}$	Querb beschleunigung
$d_x$	m	Längsabstand
$d_y$	m	Lateralabstand
$H$	-	Testentscheidung (= 1, falls Hypothese abgelehnt)
$lw$	°	Lenkradwinkel
$lws$	-	Lenkradwinkelvorzeichen
$L$	m	Bogenlänge
$p$	-	Erfolgswahrscheinlichkeit
$q$	-	Straßenquerneigung
$r$	m	Einheitsradius
$R$	m	Radius
$R^2$	-	Bestimmtheitsmaß bei der multiplen Regressionsanalyse
$t$	s	Zeit
$v$	$\frac{m}{s}, \frac{km}{h}$	Fahrgeschwindigkeit

### Griechische Buchstaben

Zeichen	Einheit	Bezeichnung
$\alpha$	°, rad	Horizontaler Öffnungswinkel
$\alpha$	-	Signifikanzniveau
$\chi^2$	-	Prüfgröße des Chi-Quadrat-Tests auf Unabhängigkeit
$\kappa$	$\frac{1}{m}$	Kurskrümmung
$\tau$	s	Zeitlücke
$\dot{\psi}$	$\frac{rad}{s}$	Gierrate, Giergeschwindigkeit



## Indizes

<b>Zeichen</b>	<b>Bezeichnung</b>
<i>max</i>	maximal
<i>min</i>	minimal
<i>real</i>	tatsächlich
<i>set</i>	Wunsch
<i>diff</i>	Differenz
<i>rel</i>	relativ

## Abkürzungen

<b>Abkürzung</b>	<b>Bezeichnung</b>
<i>ACC</i>	Adaptive Cruise Control
<i>AF</i>	Annäherungsfahrt
<i>BAB</i>	Bundesautobahn
<i>CAN</i>	Control Area Network
<i>D<sup>0</sup></i>	Teststatistik bei dem Binomialtest
<i>EF</i>	Erfassung
<i>EK</i>	Erkennung
<i>ESP</i>	Elektronisches Stabilitätsprogramm
<i>FE</i>	Fahrereingriff bzw. Falscherkennungen
<i>FF</i>	Folgefahrt
<i>FSR</i>	Full Speed Range
<i>FZD</i>	Fachgebiet Fahrzeugtechnik Darmstadt
<i>H<sub>0</sub></i>	Nullhypothese
<i>IAD</i>	Institut für Arbeitswissenschaft Darmstadt
<i>Lidar</i>	Light Detection and Ranging
<i>LSF</i>	Low Speed Following
<i>M</i>	Median
<i>PLA</i>	Plausibilität
<i>Q<sub>25</sub></i>	Unteres Quartil einer Verteilung
<i>Q<sub>75</sub></i>	Oberes Quartil einer Verteilung
<i>Radar</i>	Radio Detection and Ranging
<i>RE</i>	Richtigerkennungen
<i>RF</i>	Wieder erkanntes Zielfahrzeug
<i>SPW</i>	Spurwahrscheinlichkeit
<i>TO</i>	Zielfahrzeug, Zielobjekt (target object)
<i>TTC</i>	Time to Collision
<i>VPN</i>	Versuchspersonennummer
<i>ZO</i>	Zielfahrzeug, Zielobjekt
<i>ZV</i>	Zielverlust



# 1 Einleitung

Die Sicherheit und den Fahrkomfort im Straßenverkehr zu verbessern sind seit Beginn der Automobilentwicklung Ziele der Fahrzeugentwickler. Die Anforderungen nahmen mit steigenden Geschwindigkeiten und zunehmendem Verkehrsaufkommen stetig zu.

Die in der Vergangenheit erzielten Verbesserungen resultieren hauptsächlich aus den Fortschritten auf dem Gebiet der Passiven Sicherheit<sup>1</sup>, welche die Reduktion der Unfallschwere in der Post-Crash-Phase zum Ziel hat. Entwicklungen wie beispielsweise steifere Fahrgastzellen, energieabsorbierende Karosseriestrukturen, Sicherheitsgurte und Airbags führten entgegen dem Entwicklungstrend von Verkehrsleistung und Unfallzahlen zu einer Abnahme von Verletzten und Verkehrstoten<sup>2</sup>.

Neue Möglichkeiten, den Fahrer auf dem Gebiet der Aktiven Sicherheit mit dem Ziel der Unfallvermeidung zu unterstützen<sup>3</sup>, werden durch die Fortschritte in der Sensorentwicklung und Leistungssteigerungen in der Signalverarbeitung<sup>4</sup> eröffnet.

Fahrerassistenzsysteme, die den Fahrer bei der Ausführung der Fahraufgabe unterstützen, zielen gemäß Landau<sup>5</sup> auf eine Verbesserung des Komforts bzw. eine Erhöhung der Sicherheit ab. Mit dieser Technik ist beabsichtigt, die Fähigkeit des Fahrers in Bezug auf die Wahrnehmungsfähigkeit und Flexibilität zu nutzen und dabei die menschlichen Schwächen hinsichtlich Präzision und Schnelligkeit der Reaktion zu kompensieren<sup>6</sup>. Das Drei-Ebenen-Modell der Fahrzeugführung von Donges<sup>7</sup> beschreibt die zur Ausführung der Fahraufgabe erforderlichen Schritte: Stabilisierung, Bahnführung und Navigation. Ergebnisse bisheriger Entwicklungen sind Sicherheitssysteme wie Antiblockiersysteme und Fahrdynamikregelungen, die vorwiegend im Hintergrund arbeiten, den Fahrer bei der Fahrzeugstabilisierung unterstützen und aktiv in die Fahrdynamik eingreifen können. Dies erfolgt automatisiert ohne die direkte Mithilfe durch den Fahrer, der über den Eingriff optisch, akustisch oder haptisch informiert wird.

Die Wirksamkeit derartiger stabilisierender Systeme hat sich bereits unter Beweis stellen können<sup>8</sup>. Seit 1999 ist auf dem europäischen Markt das Abstandsregelsystem Adaptive Cruise Control (ACC) verfügbar, welches Führungsaufgaben des Fahrers in Form der Regelung von Geschwindigkeit und Abstand zu vorausfahrenden bzw. einscherenden Fahrzeugen über-

---

<sup>1</sup> Kramer: Passive Sicherheit von Kraftfahrzeugen, 1998, S. 27

<sup>2</sup> Statistisches Bundesamt: Amtliche Unfallstatistik, 2005, S. 70ff

<sup>3</sup> Braess, Reichhart: PROMETHEUS: Vision des intelligenten Automobils, 1995, S. 58ff

<sup>4</sup> Winner et. al.: ACC Entwicklungstrends, 1996, S. 1, S. 9

<sup>5</sup> Landau, Usability criteria for intelligent driver assistance systems, 2002, S 330ff

<sup>6</sup> Donges: Aspekte der Aktiven Sicherheit bei der Fahrzeugführung, 1992, S 183ff

<sup>7</sup> Donges: Das Mensch-Maschine-System im Verkehr, 1992, S. 1

<sup>8</sup> Anonymisierte Auswertung der Unfallstatistik des Statistischen Bundesamtes durch Mercedes-Benz, mot 09/2005, S. 18

nimmt. Der Einsatz des Systems wird vom Fahrer bewusst initiiert, indem er Teilaufgaben an das ACC delegiert und selbst die Kontrolle über diese Aufgaben ausübt. Ziel ist es, den Fahrer angesichts der zunehmenden Komplexität der Fahraufgaben von seiner Tätigkeit zu entlasten<sup>9</sup>. Dabei ist zu berücksichtigen, dass neben der Entlastung von gewohnten Aufgaben neue Belastungen aus der Bedienung des ACC-Systems und der Überwachung seiner Funktion hinzukommen<sup>10</sup>.

Die Abstandsregelsysteme der ersten Generation bieten die Funktionalität, die individuellen Wünsche des Fahrers hinsichtlich einer Wunschgeschwindigkeit im Bereich von 30 bis 200 km/h und eines gesetzeskonformen<sup>11</sup> Folgeabstandes zu berücksichtigen. Eine geringe Flexibilität weisen die Systeme der ersten Generation im Hinblick auf die Vielfalt potentieller Verkehrssituationen<sup>12</sup> auf, die entscheidend durch die wechselseitigen Beziehungen zu anderen Verkehrsteilnehmern bestimmt werden.

## 1.1 Ausgangslage und Motivation der Fragestellung

Für die Adaptive Cruise Control (ACC) und vor allem deren Ergänzungsmöglichkeiten wie beispielsweise FullSpeedRange-ACC (FSR) gibt es entsprechend der Philosophie verschiedener Automobilhersteller eine Vielfalt an Funktionsausprägungen und potentiellen Sensorkonfigurationen. Charakteristisch hierfür sind Faktoren wie die Dynamik im Beschleunigungs-/Verzögerungsverhalten oder Unterschiede in der Sensorleistungsfähigkeit bezogen auf die Reichweite oder den lateralen Sichtbereich. Die ACC-Systeme der zweiten Generation sind bereits eingeführt worden. Sie unterscheiden sich technisch von den Systemen der ersten Generation vor allem in der vergrößerten longitudinalen Reichweite bzw. dem erweiterten lateralen Sichtbereich<sup>13</sup>. Die in dieser Arbeit adressierte Fragestellung wird unter anderem durch die Aussagen von Filzek<sup>14</sup> und Prestl<sup>15</sup> gestützt, dass zum einen das Einscheren von langsameren Fahrzeugen die größte Anforderung für Fahrer und ACC bedeutet und zum anderen das limitierte Sichtfeld von ACC-Systemen der ersten Generation neben der zuverlässigen Situationsinterpretation die wichtigste Systemgrenze darstellt. Dies kann sich als Schwachpunkt

---

<sup>9</sup> Prestl: The BMW Adaptive Cruise Control ACC, 2000, S. 6f

<sup>10</sup> Wilde: Theory of Risk Homeostasis, 1982, S. 209ff

<sup>11</sup> Das Nichteinhalten des Abstandes zu einem vorausfahrenden Fahrzeug bei einer Geschwindigkeit von mehr als 80 km/h wird bei Unterschreitung von 5/10 des halben Tachowertes mit einem Bußgeld belegt. Dies entspricht einer Zeitlücke von 0,9 s. Quelle: Bußgeldkatalog, 2006, S. 4

<sup>12</sup> König: S.A.N.T.O.S, 2000, S. 361f

<sup>13</sup> Vgl. Recherche Sichtbereich aktueller Radarsensoren Tabelle 10-1

<sup>14</sup> Filzek: Fahrer und ACC Abstandsverhalten, 2003, S. 49, S. 74

<sup>15</sup> Prestl: Adaptive Cruise Control (ACC), 2004, S. 27

vor allem in einer späten Erkennung<sup>16</sup> von einscherenden Fahrzeugen bzw. einer eingeschränkten Kurvenfähigkeit<sup>17</sup> äußern.

Für die Weiterentwicklung aktueller ACC-Systeme sind systematische Bewertungen der Funktionsausprägungen und potentiellen Sensorkonfigurationen für die Auswahl der zukünftigen Entwicklungsschwerpunkte hilfreich. Bezogen auf die Beurteilung von ACC-Sensoren ist bereits ein Testverfahren bekannt<sup>18</sup>, welches jedoch nicht die Funktionalität des Assistenzsystems berücksichtigt, sondern sich im Wesentlichen mit den Eigenschaften des Sensors, beispielsweise hinsichtlich der Detektion unter dem Einfluss von Witterungsbedingungen, befasst.

## 1.2 Allgemeine Zielsetzung

Es gibt neben der ISO 15622 Richtlinie keine dem Verfasser bekannten standardisierten Bewertungsverfahren basierend auf objektiven Klassifizierungsmerkmalen für Adaptive Cruise Control-Systeme. In dieser Arbeit wird ein Verfahren zur Bewertung verschiedener ACC-Systeme erarbeitet und eine für die Anwendung des Verfahrens benötigte Messtechnik entwickelt. Ein Ansatz zur Komfortbeurteilung während der Nutzung von ACC-Systemen inkl. eines ausgearbeiteten Untersuchungs- bzw. Auswertungskonzepts wurden bei Didier<sup>19</sup> vorgestellt.

Neben der Ausarbeitung eines Bewertungskonzeptes lag, gestützt durch die Erkenntnisse bzgl. der Schwachpunkte von ACC-Systemen der ersten Generation durch Filzek und Prestl, die sich vor allem in einer späten Erkennung von einscherenden Fahrzeugen bzw. einer eingeschränkten Kurvenfähigkeit äußern können, ein Schwerpunkt der Arbeit in einer objektiven, vergleichenden Bewertung des Nutzens von ACC-Systemen mit unterschiedlichem lateralen Sichtbereich. Das abgeleitete Ziel bestand darin, den Einfluss der Objekterkennung und der Zielauswahl auf die Längsregelungsfunktion in Bezug auf die oben genannten Schwachpunkte zu untersuchen und die Abhängigkeiten des horizontalen Sichtbereichs eines Radarsensors auf die ACC-Systemperformance zu beschreiben. In Ergänzung zur Untersuchung des Sensorsichtbereichs wird ein Verfahren erarbeitet, das eine Bestimmung der optimalen Fahrerschlauchbreite erlaubt. Dabei werden Einflüsse seitens der Streckengeometrie und der Falscherkennungen von Objekten auf die Zielauswahl betrachtet.

---

<sup>16</sup> Filzek: Fahrer und ACC Abstandsverhalten, 2003, S. 74

<sup>17</sup> Prestl: Adaptive Cruise Control (ACC), 2004, S. 34

<sup>18</sup> Domsch: Testverfahren ACC, 2000, S. 3ff

<sup>19</sup> Didier: Verfahren zur Messung des Komforts bei Abstandsregelsystemen, 2006, S. 30ff

## 2 Begriffe und Definitionen

In Abbildung 2-1 wird das dieser Arbeit zugrunde liegende Koordinatensystem dargestellt.

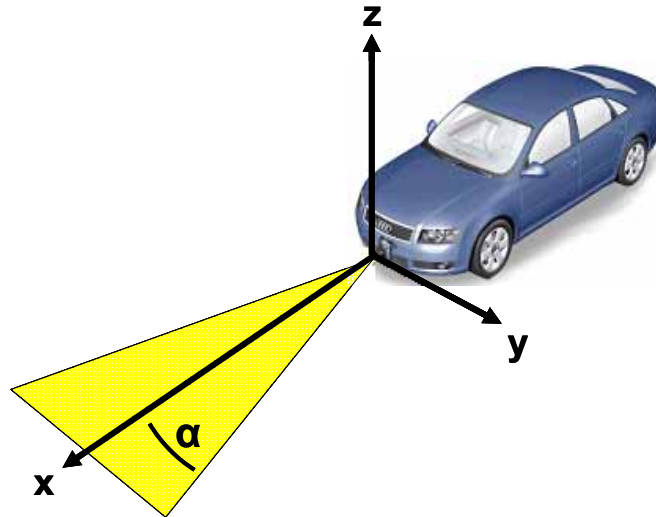


Abbildung 2-1: Fahrzeugfestes Koordinatensystem und horizontaler Öffnungswinkel des Radarsensors

### 2.1 Winkelbereich

Im Zusammenhang mit Umfellsensoren wird zwischen horizontalem und vertikalem Winkelbereich unterschieden. Im Rahmen dieser Arbeit ist insbesondere der horizontale Öffnungswinkel von Bedeutung. Dieser ergibt sich aus dem horizontalen Öffnungswinkel  $\alpha$  des verwendeten Sensors (Abbildung 2-1). Zu beachten ist die unterschiedliche Schreibweise bei den Winkelgrößen: Der horizontale Öffnungswinkel der zur Verfügung stehenden ACC-Sensoren der ersten Generation beträgt  $\pm 4^\circ$ , der entsprechende horizontale Winkelbereich  $8^\circ$ .

### 2.2 Situationsklassifizierung und Begriffsdefinition

#### Annäherung

Unter Annäherung wird verstanden, dass das Versuchsfahrzeug sich an ein vorausfahrendes langsames, auf dem eigenen Fahrstreifen befindliches Fahrzeug annähert.

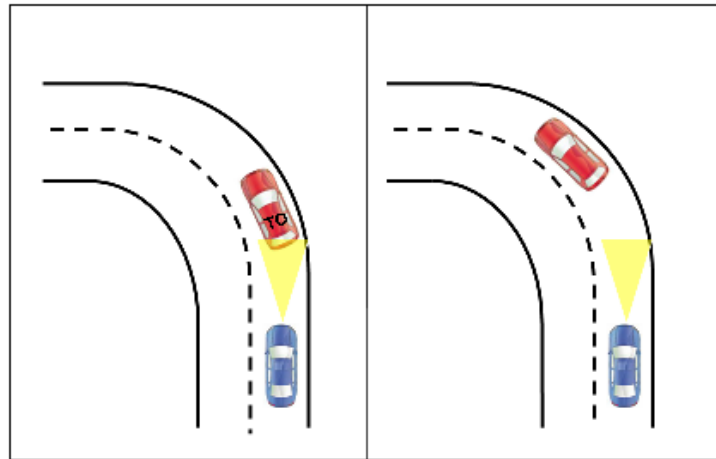


Abbildung 2-2: Folgefahrt (links) und Annäherungsfahrt (rechts)

### **Ausschersituation**

Der Begriff Ausschersituation beschreibt eine Situation, in der ein vorausfahrendes Fahrzeug auf dem eigenen Fahrstreifen vor dem Versuchsfahrzeug in einen benachbarten Fahrstreifen wechselt. Situationen, in denen das Versuchsfahrzeug selbst ausschert, zählen nicht dazu.

### **Demarkierung bei Ausschersituationen**

Unter Demarkierung ist die Klassifizierung eines Fahrzeugs als Ausscherer zu verstehen. Bei Ausschersituationen eines vorausfahrenden Fahrzeugs wird als Demarkierungszeit der Zeitpunkt verstanden, an dem das Zielfahrzeug den Fahrstreifen des Versuchsfahrzeugs verlässt, also das linke/rechte Hinterrad des ausscherenden Fahrzeugs die Fahrstreifenmarkierung überfahren hat, wenn es sich um einen Ausschervorgang nach rechts/links handelt.

### **Einscherbeginn**

Der Einschervorgang von links/rechts aus Sicht des Versuchsfahrzeugs beginnt dann, wenn das rechte/linke Hinterrad des einschierenden Fahrzeugs das erste Mal die eigene Fahrstreifenbegrenzung<sup>20</sup> berührt und dabei überfährt.

### **Einscherende**

Als Ende des Einschervorganges wird der Zeitpunkt notiert, an dem das eingescherte Fahrzeug als Zielobjekt markiert ist und seine Fahrt in der Fahrstreifenmitte stabilisiert<sup>21</sup> hat.

<sup>20</sup> Die hier gemeinte Fahrstreifenbegrenzung ist in den meisten Fällen die Leitlinie, jedoch zählen für diese Untersuchung auch alle anderen den Fahrstreifen begrenzenden Linien dazu.

<sup>21</sup> Stabilisiert bedeutet: die Quergeschwindigkeit bezogen auf die Fahrstreifenmitte bewegt sich um den Wert 0 m/s.

### **Einschersituation**

Der Begriff Einschersituation beschreibt eine Situation, in der ein vorausfahrendes Fahrzeug in den Fahrstreifen vor dem Versuchsfahrzeug wechselt. Situationen, in denen das Versuchsfahrzeug selbst hinter ein Fahrzeug einschert, zählen nicht dazu.

### **Erfassung**

Unter Erfassung wird definiert, dass ein Objekt (i.d.R. ein vorausfahrendes Fahrzeug) für die Zielauswahl zur Verfügung steht (Das Objekt wurde vom Sensor detektiert und erfüllt die Filterbedingung des jeweils eingestellten Modus, d.h. es befindet sich innerhalb des  $\pm 4^\circ$ - oder  $\pm 8^\circ$ -Sichtbereichs).

### **Erkennung**

Der Begriff Erkennung bedeutet, dass ein Objekt (i.d.R. ein vorausfahrendes Fahrzeug) als Zielobjekt markiert wird.

### **Fahrschlauch**

Der Fahrschlauch ist der Bereich, in dem die vom Radarsensor detektierten Fahrzeuge für die Abstandsregelung verwendet werden. Er ist insbesondere durch seine Breite, welche in etwa der Fahrstreifenbreite entspricht, charakterisiert.

### **Fahrstreifen**<sup>22</sup>

Ein Fahrstreifen ist der Teil einer Fahrbahn, den ein mehrspuriges Fahrzeug zum ungehinderten Befahren benötigt. Die Fahrstreifenbreite variiert zwischen 2,5 m in Baustellenbereichen und 3,75 m auf normalen Straßen. Der Fahrstreifen wird meist durch Straßenmarkierungen, wie Fahrbahnbegrenzung und Fahrstreifenbegrenzung oder Leitlinie gekennzeichnet.

### **Folgefahrt**<sup>23</sup>

Unter Folgefahrt wird definiert, dass eine gebundene Fahrt im eingeschwungenen Zustand vorliegt, d.h. es wird einem vorausfahrenden Fahrzeug auf dem eigenen Fahrstreifen bei annähernd gleicher Geschwindigkeit und relativ konstantem Abstand gefolgt.

---

<sup>22</sup> Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen: Internetquelle Straßenwesen, 2006

<sup>23</sup> Filzek: Fahrer und ACC Abstandsverhalten, 2003, S. 1



### **Funktionsstörung**

Unter Funktionsstörungen werden in dieser Arbeit das Erkennen von unbeabsichtigten Objekten insbesondere von Nebenspurfahrzeugen sowie das Nichtmarkieren von potentiellen Zielfahrzeugen und Zielverlusten innerhalb des Bereiches, der durch die ACC-Standardfunktion gegeben ist, verstanden.

### **Geisterziel**

Ein „Geisterziel“ ist ein fälschlicherweise erkanntes Zielobjekt, dem kein physikalisches Objekt zugeordnet werden kann.

### **Kurvenfahrt**

Die Basis für eine einheitliche Definition des Beginns und des Endes einer Kurve bilden die theoretischen Erkenntnisse und Richtlinien der Wissenschaft des Straßenbaus<sup>24</sup>, aus deren Sicht eine Kurve bzw. eine Kurvenfolge mit Hilfe von Klothoiden abgebildet werden kann. Hierbei handelt es sich um eine Bogenform, dessen Krümmung sich linear mit der Bogenlänge ändert. Ausgehend von diesen Erkenntnissen und dem Vergleich mit den vorliegenden Messdaten, ist die Bestimmung des Kurvenanfangs mit Hilfe des Lenkradwinkels möglich. Dieser ist jedoch anfällig gegenüber hohen Geschwindigkeiten und Seitenwind, ein Effekt, der auf dem betrachteten Abschnitt und gegenüber Straßenquerneigung<sup>25</sup> zu vernachlässigen ist. Der Lenkradwinkel unterliegt in dem untersuchten Streckenabschnitt keinem Einfluss durch die Straßenquerneigung am Beginn einer Kurve bei einer Kurvenfolge und nur einem geringen Einfluss ( $q_{min} = 2,5\%$ ) bei Kurvenbeginn nach einer Geraden. Diese Überlegungen führten zu folgenden Definitionen für den Beginn und das Ende einer Kurvenfahrt:

#### Beginn einer Kurvenfahrt:

- Gefahrene Geschwindigkeit  $v \geq 8,5 \text{ m/s} \approx 30 \text{ km/h}$ , entsprechend der niedrigsten Geschwindigkeit bei der das ACC-System aktiviert werden kann und/oder
- eine nahezu konstante Lenkradwinkeländerung ab Kurvenbeginn und/oder
- keine Veränderung des Lenkradwinkelvorzeichens während der gesamten Kurvenfahrt für eine Dauer  $t \geq 1$  Sekunde, zur Berücksichtigung kleiner Lenkkorrekturen.

#### Ende einer Kurvenfahrt:

- Abfallen der Geschwindigkeit auf  $v \leq 5,3 \text{ m/s} \approx 19 \text{ km/h}$ , entsprechend der kleinstmöglichen Geschwindigkeit bis zu der das ACC-System aktiv bleibt und/oder
- eine Änderung des Lenkradwinkelvorzeichens für eine Dauer  $t \geq 1$  Sekunde und/oder

---

<sup>24</sup> FGSV: Straßenrichtlinien, 1995, S. 89f

<sup>25</sup> Winner et. al.: Gelbe Seiten ACC, 2002, S. 35ff

- Lenkradwinkel gleich Null  $[\pm 0,1^\circ]$  für eine Dauer  $t \geq 1$  Sekunde.

Die in den Diagrammen und Tabellen angegebenen Kurvenkrümmungen beziehen sich auf den Median der jeweiligen Rohwerte. Die Berechnung der Kurvenkrümmung ( $\kappa_{Course}$ ) erfolgt durch folgende Gleichung:

$$\kappa_{Course} = a \cdot \kappa_{Yaw} + b \cdot \kappa_{Env} + c \cdot \kappa_{SO} \quad (2.1)$$

mit  $\kappa_{Yaw} = \frac{\dot{\psi}}{v}$ ,

$\kappa_{Env}$ : Umgebungsgierrate (gebildet aufgrund vorausfahrender Fahrzeuge),

$\kappa_{SO}$ : Gierrate (gebildet aufgrund stationärer Zielobjekte bzw. Randbebauung),

a,b,c: Gewichtungsfaktoren, die durch einen nicht veröffentlichten Algorithmus in der Radarsensoreinheit berechnet werden.

### **Lateralabstand**

Der Lateralabstand bezeichnet den in der horizontalen Ebene senkrecht auf die Fahrzeug- bzw. Fahrschlauchmittelachse bezogenen lateralen Abstand eines erfassten Objektes.

### **Nebenspurstörung**

Der Begriff Nebenspurstörung definiert, dass ein Fahrzeug, welches sich auf dem Nachbarfahrstreifen befindet, fälschlicherweise als relevantes Zielobjekt erfasst und durch die ACC-Regelung verwendet wird.

### **Prädiktion**

In diesem Verarbeitungsschritt innerhalb des Trackings erfolgt die (rechnerische) Vorhersage der Lage- und Bewegungsinformationen anhand der bekannten Geschichte und physikalischer oder mathematischer Gesetzmäßigkeiten.

### **Relativgeschwindigkeit**

Dieser Begriff bezeichnet die Differenz der Geschwindigkeiten von vorausfahrendem Fahrzeug und Versuchsfahrzeug bzw. die zeitliche Ableitung des Abstandes. Eine negative Relativgeschwindigkeit bedeutet, dass das vorausfahrende Fahrzeug langsamer als das Versuchsfahrzeug ist.

### **Tracking**

Der Begriff Tracking (Zielverfolgung, Nachführung) umfasst alle Bearbeitungsschritte, die der Verfolgung von (bewegten) Objekten dienen. Neben der Assoziation von Messungen des aktuellen Messzeitpunktes zu denen der vorhergehenden Messzeitpunkte dient es zur Extraktion von Informationen über den Verlauf der Bewegung und der Lage eines Objektes sowie

zur Verminderung von negativen Einflüssen, herrührend von zumeist zufälligen Messfehlern (Messrauschen). Die extrahierten Informationen können die Geschwindigkeit der Bewegung, die Beschleunigung sowie Informationen bezüglich der Lage zu einem bestimmten, oft in der Zukunft liegenden, Zeitpunkt sein.

### **Verlustradius**

Unter dem Verlustradius wird der Radiuswert des Zielobjektes verstanden, der bei dem Übergang von gerade noch erfasst und nicht mehr erfasst (d.h. zum Verlustzeitpunkt) in den Messwerten vorhanden ist.

Die Kurvenradien bei Zielobjektverlust wurden anhand des Kehrwerts der Kurskrümmung ermittelt. Als mittlerer Kurvenradius wurde der Median aller Momentanradien gewählt, der die Extremwerte am Beginn und am Ende einer Kurve nicht berücksichtigt.

### **Verlustwinkel**

Unter dem Verlustwinkel wird der horizontale Winkelwert des Zielobjektes verstanden, der bei dem Übergang von gerade noch erfasst und nicht mehr erfasst (d.h. zum Verlustzeitpunkt) in den Messwerten vorhanden ist.

### **Zeitlücke**

Die Zeitlücke  $\tau$  ist definiert als die Zeit, die die vordere Begrenzung des mit ACC ausgestatteten Fahrzeugs benötigt, um die aktuelle Position der hinteren Begrenzung des vorausfahrenden Fahrzeugs zu erreichen. Sie errechnet sich laut Gleichung<sup>26</sup>

$$\tau = \frac{d_x}{v_{ACC}} \quad (2.2)$$

aus dem longitudinalen Abstand  $d_x$  bezogen auf die eigene Fahrzeuggeschwindigkeit  $v_{ACC}$ .

### **Zielobjekt**<sup>27</sup>

Ein Zielobjekt wird als Fahrzeug verstanden, das in dem eigenen Fahrstreifen direkt vorausfährt und auf das der Abstand und die Geschwindigkeit geregelt wird.

---

<sup>26</sup> Winner et. al.: ACC Gelbe Seiten, 2002, S.40

<sup>27</sup> Filzek: Fahrer und ACC Abstandsverhalten, 2003, S. 2

## 3 ACC-Systembeschreibung

Innerhalb dieses Kapitels erfolgen die Definition und die elementare Beschreibung der Funktionsweise des Adaptive Cruise Control-Systems. Für weiterführende Erklärungen wird auf die Fachliteratur<sup>28</sup> verwiesen.

### 3.1 Definition

Das Adaptive Cruise Control-System ist ein Fahrzeuglängsregelungssystem, welches zur Gruppe der komfortorientierten Fahrerassistenzsysteme gehört.

Ziel des ACC-Systems ist die Unterstützung des Fahrers bei der längsdynamischen Fahrzeugführung auch in häufig wechselnden Verkehrsverhältnissen. Hierbei wird der Fahrer von der oft als ermüdend empfundenen Fahrgeschwindigkeits- und Abstandsregelung und somit von den hierfür notwendigen Gas- und Bremspedalbetätigungen entlastet. Dadurch wird eine Komfortsteigerung erzielt, die indirekt auch zu einem harmonischeren Verkehrsfluss und zur Erhöhung der Verkehrssicherheit beiträgt<sup>29</sup>.

ACC stellt die konsequente Weiterentwicklung der konventionellen Geschwindigkeitsregelanlage, die auch unter der Bezeichnung Tempomat bzw. Cruise Control (CC) bekannt ist, dar. Es erweitert dabei die Funktion der automatischen Geschwindigkeitsregelung, die das Kraftfahrzeug auf eine zuvor eingestellte Geschwindigkeit konstant einregelt, um eine zusätzliche automatische Abstandsregelung.

Zu diesem Zweck überwacht ACC mittels eines Abstandssensors den Verkehrsraum vor dem Fahrzeug und unterstützt damit den Fahrer bei der Ermittlung und Einhaltung einer bestimmten, vorgegebenen Wunschgeschwindigkeit und eines eingestellten Wunschabstandes zu vorausfahrenden Fahrzeugen durch automatisches Anpassen.

### 3.2 Funktionsweise

Die grundsätzliche Funktionsweise des ACC-Systems kann anhand der in Abbildung 3-1 dargestellten Fahrsituationen beispielhaft erläutert werden.

---

<sup>28</sup> Beispielsweise bei Winner et. al.: ACC Gelbe Seiten, 2002, S. 4ff

<sup>29</sup> Audi AG: ACC im Audi A8, 2002, S. 3f

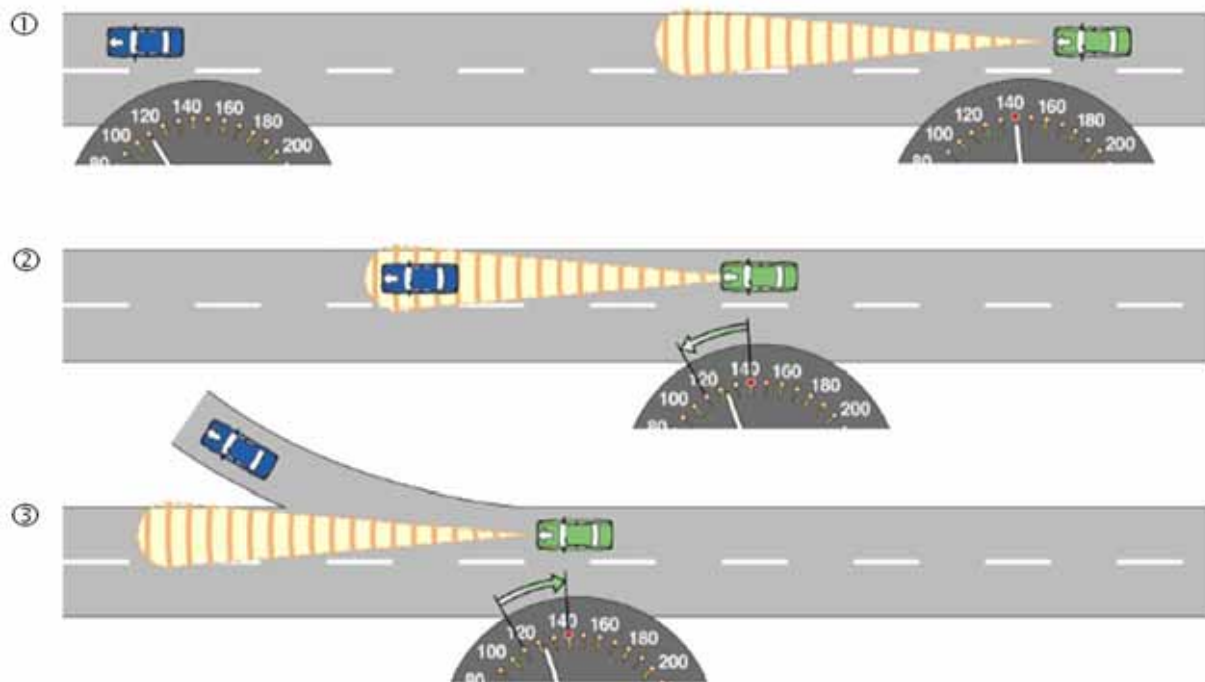


Abbildung 3-1: Funktionsweise von Adaptive Cruise Control (ACC) [Quelle: Winner, ACC Gelbe Seiten, 2002, S. 5]

- ① Befindet sich das mit ACC ausgerüstete Fahrzeug in freier Fahrt oder ist der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug größer als der eingestellte Wunschabstand, arbeitet das ACC-System wie eine konventionelle Geschwindigkeitsregelanlage und regelt das Fahrzeug automatisch auf die vom Fahrer vorgegebene konstante Wunschgeschwindigkeit ein.
- ② Falls das ACC-System ein in dem eigenen Fahrstreifen langsamer vorausfahrendes oder einscherendes Fahrzeug mit geringerem Abstand als der Wunschabstand und/oder niedrigerer Geschwindigkeit als der eigenen Geschwindigkeit erfasst, so passt das ACC-System Abstand und Geschwindigkeit durch Verzögern des Fahrzeugs automatisch an die vom Fahrer vorgewählten Wunschgrößen an. Dies geschieht durch Leistungsreduzierung des Motors, Getriebeschaltvorgänge und, wenn erforderlich, durch Bremsengriffe<sup>30</sup>. Dabei wechselt das ACC-System von der geschwindigkeitsgeregelten Freifahrt- in den abstandsgeregelten Folgebetrieb.

Der Abstand und die Geschwindigkeit werden hierbei stets dynamisch an die des vorausfahrenden Zielfahrzeugs angepasst bis die Relativgeschwindigkeit beider Fahrzeuge annähernd Null ist und der vom Fahrer eingestellte, geschwindigkeitsproportionale Abstand, die so genannte Zeitlücke<sup>31</sup>, möglichst konstant eingehalten wird.

<sup>30</sup> Continental Temic: Sensors Future Safety Systems, 2004, S. 17

<sup>31</sup> Vgl. Definition aus Kapitel 2.2

- ③ Sobald der prädizierte Fahrstreifen wieder frei ist, beispielsweise durch Abbiegen oder Streifenwechsel des eigenen oder vorausfahrenden Fahrzeugs, beschleunigt das ACC-System das Fahrzeug automatisch wieder bis auf die ursprünglich vom Fahrer voreingestellte Wunschgeschwindigkeit. Dabei geht das ACC-System vom Folge- in den Freifahrtbetrieb über.

Zusätzlich zur Geschwindigkeits- und Abstandsregelung besitzt das ACC-System auch eine Kurvenregelung, die die maximal mögliche Beschleunigung in Kurvenfahrten begrenzt. Dies ist deshalb notwendig, da aufgrund des begrenzten Detektionsbereichs des Sensors nicht der gesamte Fahrstreifenverlauf innerhalb der Kurve erfasst werden kann. Bei einem Zielverlust während einer Folgeregelungssituation würde das ACC-System sonst eine sofortige Beschleunigung durchführen, was wiederum dem Fahrkomfort abträglich wäre.

Da der einzuhaltende longitudinale Abstand  $d_x$  in einem weiten Geschwindigkeitsbereich näherungsweise proportional zu der gefahrenen Geschwindigkeit ist, entspricht dieser einer geschwindigkeitsunabhängigen, konstanten Zeitlücke  $\tau$ .

Aus diesem Grund wird der einzuhaltende Abstand vom Fahrer in Form einer Zeitlücke vorgegeben, da bei höheren Geschwindigkeiten entsprechend größere Abstände erforderlich sind als dies bei geringeren Geschwindigkeiten der Fall wäre. Übliche vom Fahrer einstellbare Zeitlücken, die innerhalb der gesetzlichen Grenzen liegen, sind in dem Bereich zwischen 1,0 und 2,3 Sekunden.

Um im abstandsgeregelten Folgebetrieb einen möglichst hohen Fahrkomfort zu erzielen, wird auf eine direkte Regelung, welche den Geschwindigkeitsverlauf des vorausfahrenden Zielfahrzeugs unmittelbar nachbildet und jede auftretende Geschwindigkeitsänderung ausregelt, verzichtet. Daher kann die Zeitlücke zum Zielfahrzeug schwanken.

Die Beschreibung der ACC-Systemkomponenten bestehend aus:

- Radarsensor mit integrierter Reglereinheit und
- Mensch-Maschine-Schnittstelle (Bedienelemente/Anzeigen)

sowie der verschiedenen Steuergeräte mit den zugehörigen Stellgliedern wie

- Motorsteuerung mit elektronischer Momentenschnittstelle
- Getriebesteuergerät und
- Bremse

ist der detaillierten Beschreibung gemäß Winner<sup>32</sup> zu entnehmen.

---

<sup>32</sup> Winner et. al.: ACC Gelbe Seiten, 2002, S. 7ff

## 4 Stand der Forschung und Technik

In den folgenden Abschnitten werden neben den Begrifflichkeiten der recherchierte Wissensstand bezogen auf die Anforderungen an Abstandssensoren, des Sichtbereichs, des Fahr-schlauches und objektiver Kriterien bzw. eine Bewertungsmatrix dargestellt.

### 4.1 Allgemeine Anforderungen an ACC-Abstandssensoren

Für die für ACC genutzten Abstandssensoren ist zu gewährleisten<sup>33</sup>, dass das ACC-System

- bei allen Lichtverhältnissen
- in jeder Umgebung (Tunnel, Brücken, Schilder) und Topographie
- bei allen Witterungsverhältnissen
- bei jeder Art von Fahrbahnbegrenzung

ohne Beeinträchtigungen arbeitet.

Für die einwandfreie Funktion von ACC ist es notwendig, dass der eingesetzte Sensor den Abstand und die Differenzgeschwindigkeit zwischen dem ACC-Fahrzeug und dem vorausfahrenden Zielfahrzeug unter allen Randbedingungen zuverlässig erkennt. Als Randbedingungen in diesem Zusammenhang sind insbesondere Klima, Fahrzustand und Streckenführung relevant<sup>34</sup>.

#### Wettereinflüsse:

- Niederschläge (Regen, Schnee, Nebel)
- Sonneneinstrahlung
- feuchte Fahrbahn

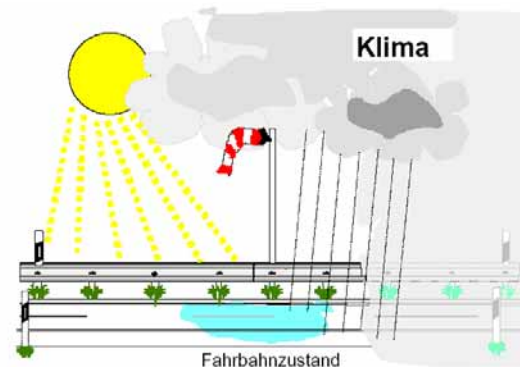


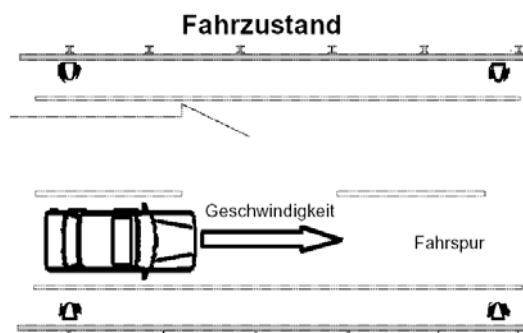
Abbildung 4-1: Klimaeinflüsse<sup>34</sup>

<sup>33</sup> TRW Automotive: TRW ACC, 2002, S. 4ff

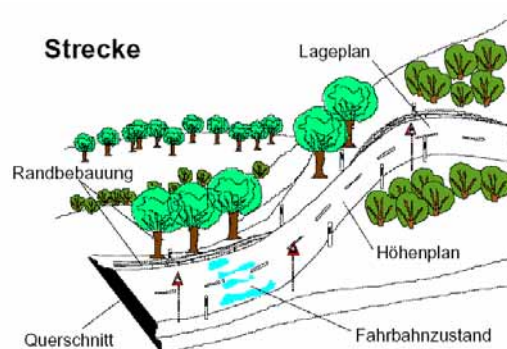
<sup>34</sup> Kühnle: Low-Cost-Long-Range-Radar für FAS, 2002, S. 561ff

**Fahrzustand:**

- Kurvenfahrt
- Fahrstreifenwechsel
- einscherendes Fahrzeug
- Gegenverkehr

Abbildung 4-2: Fahrzustand<sup>34</sup>**Streckenführung:**

- Kurven
- Topographie
- Randbebauung
- Straßenbreite

Abbildung 4-3: Streckenführung<sup>34</sup>

Als Zielfahrzeuge sind sowohl LKW und PKW als auch Motorräder und Radfahrer gleichermaßen von Bedeutung. Bei einem stadtauglichen ACC ist zusätzlich die Erkennung von Fußgängern wünschenswert. Die Sensoren liefern Informationen über den Abstand, den lateralen Versatz und die Relativgeschwindigkeit der Zielobjekte zum ACC-Fahrzeug. Einen Überblick, über die Eigenschaften der durch die Sensoren zu erfassenden Objekte findet sich in der folgenden Tabelle.

Tabelle 4-1: Statistische Eigenschaften verschiedener Zielobjekte<sup>35</sup>

Objekt	Länge [m]	Breite [m]	Geschwindigkeit [km/h]
LKW	5,5 – 20,0	2,1 – 2,9	< 120
PKW	2,7 – 5,5	1,0 – 2,1	< 250
Fahrrad / Motorrad	< 2,1	< 2,5	< 250
Fußgänger	< 1,5	< 1,0	2 - 40

<sup>35</sup> Lages: Objekterkennung in Pre-Crash-Phasen, 2003, S. 9



## 4.2 Recherche des Sichtbereichs von ACC-Systemen

Innerhalb dieses Unterkapitels wird eine Übersicht gegeben, welche Sensoren derzeit am Markt<sup>36</sup> verfügbar sind. Diese Sensoren werden anhand ihrer Sicht- bzw. Erfassungsbereiche klassifiziert. Wichtigstes Klassifizierungsmerkmal ist hierbei der horizontale und der vertikale Sichtbereich sowie der zur Verfügung stehende Entfernungsbereich. Abbildung 4-4 stellt die absolute Häufigkeit der recherchierten Radarsensoren bezogen auf die einzelnen Klassifizierungsmerkmale dar. Aus Sicht des horizontalen Sensoröffnungswinkels erfolgt eine Zweiteilung: die eine Hälfte der Sensoren verfügt über einen Winkel zwischen  $\pm 4^\circ$  bis  $\pm 6^\circ$ , die andere Hälfte bis auf eine Ausnahme über  $\pm 8^\circ$ .

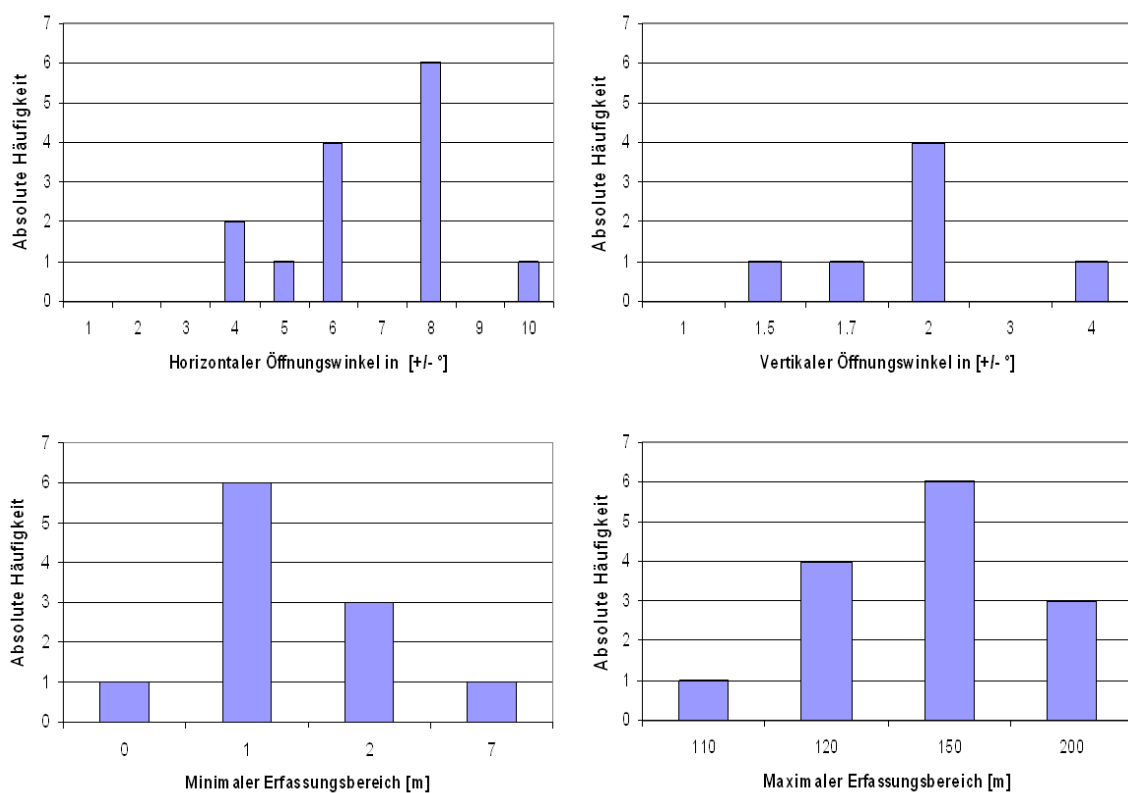


Abbildung 4-4: Absolute Häufigkeit aktueller Radarsensoren / Sensorkennwerte

Die meisten Fernbereichssensoren arbeiten mit der 76- bis 77-GHz-Technologie. Eine Ausnahme bildet der von Eaton Vorad entwickelte Sensor, er arbeitet mit einer Frequenz von 24 GHz. Eine Tabelle mit der Benennung der Hersteller in Kombination mit den genannten Sensorkennwerten befindet sich in Anhang 10.1. Dort wird zusätzlich eine Unterteilung in Radarsensoren für den Fern- bzw. für den Nahbereich aufgeführt und es werden die aktuellen Lidarsensoren mit den Kennwerten benannt.

<sup>36</sup> Stand Ende 2005

### 4.3 Einfluss verschiedener Sichtbereiche

In diesem Unterkapitel wird durch eine theoretische Betrachtung geklärt, welche Sichtbereiche für zukünftige ACC-Systeme notwendig und insbesondere auch hinsichtlich der Sensorverfügbarkeit realisierbar sind. Aus den nachfolgenden Überlegungen werden konkrete Sichtbereiche für das ACC-System abgeleitet und konform der Möglichkeiten der vorhandenen Radarsensorik unter Berücksichtigung der Ergebnisse des vorherigen Unterkapitels umgesetzt.

#### 4.3.1 Sichtbereichsansatz über die Betrachtung des Kurvenradius

Eine theoretische Definition findet sich in der ISO 15622 und leitet sich von der maximalen Querbewegung  $a_{max}$  und der Vorausschauzeitlücke  $\tau_{max}$  ab. Laterale Ausdehnungen des Ziels, außermittige Montage des Sensors oder außermittige Fahrweise des Ziel- oder Egofahrzeugs<sup>37</sup> sind hierbei vernachlässigt.

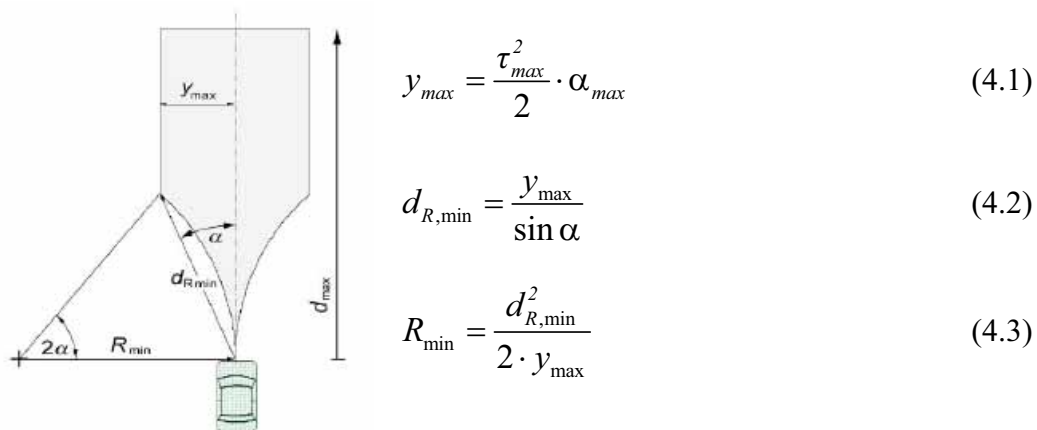


Abbildung 4-5: ACC-Sichtbereich (Quelle: nach ISO 15622, S. 18)

Der horizontale Winkelbereich des verwendeten Sensors hat offensichtlich großen Einfluss auf die Kurventauglichkeit des ACC-Systems (Abbildung 4-6).

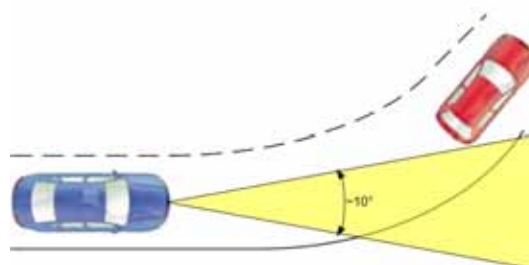


Abbildung 4-6: Kurvenfahrt und horizontaler Sichtbereich

<sup>37</sup> Unter Egofahrzeug wird das hinter dem Zielfahrzeug fahrende Fahrzeug (mit integriertem Abstandssensor) verstanden.

Der nötige horizontale Öffnungswinkel  $\alpha$  ist abhängig von der gewählten Zeitlücke  $\tau$ , der maximal zulässigen Querbeschleunigung  $a_{y,max}$  und dem gefahrenen Kurvenradius  $R$ . Eine idealisierte Berechnung des Zusammenhangs erfolgt mit der Formel:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{\tau}{2} \cdot \sqrt{\frac{a_{y,max}}{R}}\right) \quad (4.4)^{38}$$

Zur Berechnung des erforderlichen Öffnungswinkels wird die Zeitlücke auf 2 s festgelegt. Die zulässige Querbeschleunigung ist abhängig von der Fahrgeschwindigkeit. Bei Adiprasito<sup>39</sup> findet sich eine experimentell ermittelte Darstellung, die die unterschiedliche Abhängigkeit der Querbeschleunigungen von der Fahrgeschwindigkeit eines durchschnittlichen Fahrers beschreibt (Abbildung 4-7).

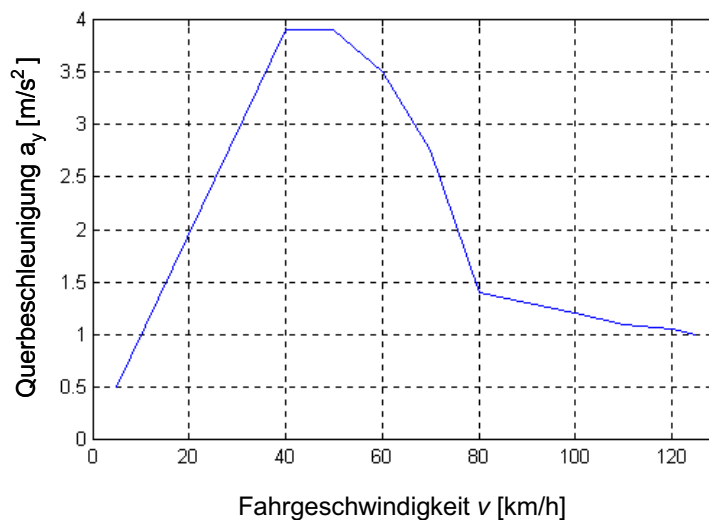


Abbildung 4-7: Zusammenhang zwischen Fahrgeschwindigkeit und Querbeschleunigung (Quelle: Adiprasito, FAS bei Längsführung von Kfz, S. 268)

Bei niedrigeren Geschwindigkeiten (bis ca. 80 km/h) ergeben sich Querbeschleunigungen von bis zu 3,9 m/s<sup>2</sup>. Bei höheren Geschwindigkeiten werden nur geringere Querbeschleunigungen bis zu 1,5 m/s<sup>2</sup> genutzt. Aus diesem Grund ist es zweckmäßig, auch eine Unterscheidung bei der Ermittlung des nötigen horizontalen Öffnungswinkels durchzuführen. Im Geschwindigkeitsbereich bis 80 km/h wird die zu berücksichtigende Querbeschleunigung bei Kurvenfahrt auf 4 m/s<sup>2</sup>, darüber auf 2 m/s<sup>2</sup> für die weiteren Überlegungen festgelegt.

<sup>38</sup> ISO 15622, 2002, S. 18

<sup>39</sup> Adiprasito: FAS bei Längsführung von Kfz, 2001, S. 268

Werden Anhaltswerte für verkehrstypische Kurvenradien gemäß Uhler<sup>40</sup> betrachtet, so finden sich auf Autobahnen und Landstraßen höherer Ordnung<sup>41</sup> üblicherweise Kurvenradien größer als 200 m. Kennzeichnend für Straßen in der urbanen Peripherie sind minimale Kurvenradien von 100 m. Im Stadtverkehr hingegen und auch auf einigen Straßen außerorts mit besonderen verkehrstechnischen Merkmalen wie z.B. Serpentinaen ergeben sich Kurvenradien deutlich unter 100 m. Die Mindestradien für Kurven innerhalb urbaner Bereiche sind nicht exakt festgelegt<sup>42</sup>. Aus den Bautabellen für den Straßenbau wird die Forderung entnommen, dass alle Straßen, welche nicht dem reinen Anliegerbereich zuzuordnen sind, auch von großen Fahrzeugen (Lastzüge und Gelenkbusse) befahrbar sein müssen. Für diese Straßen wird ein minimaler Radius von 20 m gefordert.

Der notwendige horizontale Sichtbereich für Kurvenfahrten lässt sich mit Formel (4.4) berechnen. Für eine gewählte Zeitlücke von 2 s findet sich in Abbildung 4-8 eine Darstellung des benötigten horizontalen Sichtbereichs in Abhängigkeit vom gefahrenen Kurvenradius für Querbeschleunigungen von 2 bzw. 4 m/s<sup>2</sup>. Nimmt man den 50 %-Wert als Kriterium für die Kurvenfähigkeit (Abbildung 6-14), so können dem bisher ausschließlich auf theoretischen Überlegungen basierenden Verlauf der ISO 15622 erstmals empirische Werte entgegengesetzt werden. Für  $\pm 4^\circ$  ergibt sich ein Krümmungswert von  $\kappa = 0,0025/\text{m}$  entsprechend  $R = 400 \text{ m}$  und für  $\pm 8^\circ$   $\kappa = 0,007/\text{m}$  entsprechend  $R = 140 \text{ m}$ .

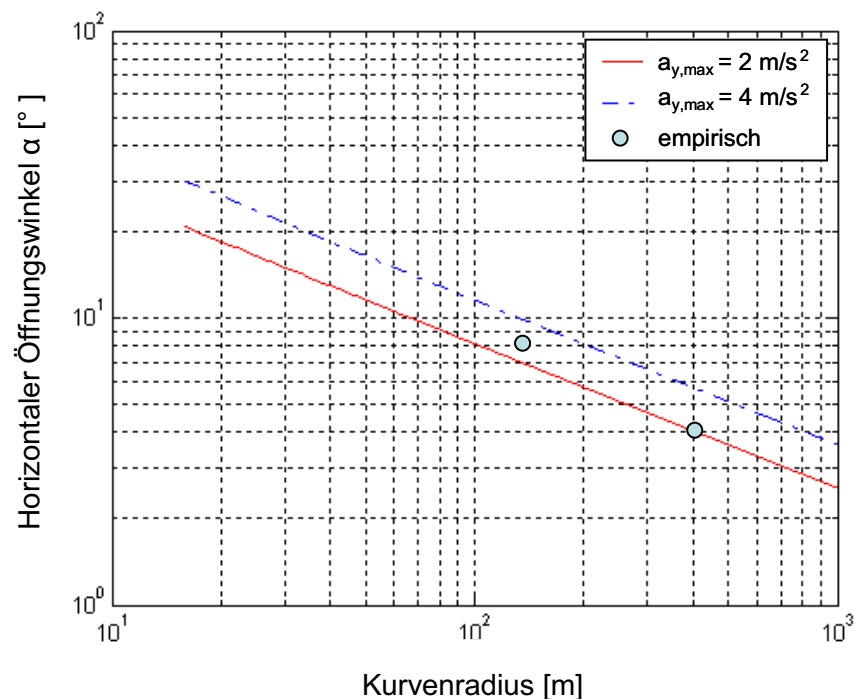


Abbildung 4-8: Öffnungswinkel in Abhängigkeit vom Kurvenradius gemäß Formel (4.4)

<sup>40</sup> Uhler: Systemkonzept eines erweiterten ACC, 2000, S. 568

<sup>41</sup> Definition höherer Ordnung: im Wesentlichen kreuzungsfrei, keine Lichtsignalanlagen oder sonstige Haltegebote, i.d.R. mehrstreifig in jede Fahrtrichtung, minimale Kurvenradien 200 m usw. (aus: Uhler: Systemkonzept eines erweiterten ACC, 2000, S. 568)

<sup>42</sup> Bautabellen für Architekten: 1996, S. 59ff

Nach Formel (4.4) ergibt sich für einen minimalen Kurvenradius von 20 m und einer Querbesehleunigung von  $4 \text{ m/s}^2$  ein notwendiger horizontaler Winkelbereich von insgesamt  $\pm 32,2^\circ$ . Die Wahl des höheren Querbesehleunigungswertes wird dadurch gerechtfertigt, dass kleine Kurvenradien üblicherweise mit niedrigeren Geschwindigkeiten, aber höheren Querbesehleunigungen gefahren werden.

Die Berechnung mit Formel (4.4) geht von der Annahme aus, dass das Egofahrzeug einen mittig in der Fahrzeugfront implementierten Sensor hat, das Zielfahrzeug mittig reflektiert wird und beide Fahrzeuge mittig im Fahrstreifen fahren.

Als weitere typische Kurvenradien werden noch  $R = 100 \text{ m}$  und  $R = 200 \text{ m}$  betrachtet. Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse zusammen.

*Tabelle 4-2: Ausgewählte horizontale Winkelbereiche in Abhängigkeit von Kurvenradius und Querbesehleunigung*

	$R = 20 \text{ m}$	$R = 100 \text{ m}$	$R = 200 \text{ m}$
$a_y = 2 \text{ m/s}^2$	$\pm 22,8^\circ$	$\pm 8,1^\circ$	$\pm 5,7^\circ$
$a_y = 4 \text{ m/s}^2$	$\pm 32,2^\circ$	$\pm 11,5^\circ$	$\pm 8,1^\circ$

Zum Vergleich: Unter der Annahme einer idealisierten Betrachtung ist das zur Verfügung stehende ACC-System der ersten Generation mit einem horizontalen Winkelbereich von  $\pm 4^\circ$  und einer zulässigen Querbesehleunigung von  $2 \text{ m/s}^2$  für einen minimalen Kurvenradius von 411 m ausgelegt. Mit den Sensoren der zweiten Generation und einem angenommenen Winkelbereich von  $\pm 8^\circ$  werden kleinere Kurvenradien bis hin zu 103 m abgedeckt.

### 4.3.2 Sichtbereichsansatz über die Betrachtung von Fahrsituationen

Als besonders zu berücksichtigende Fahrsituationen werden Fahrstreifenwechsel und ihr Einfluss auf den nötigen horizontalen Winkelbereich untersucht. Bei den Fahrstreifenwechseln lassen sich verschiedene Manöver unterscheiden (Abbildung 4-9).

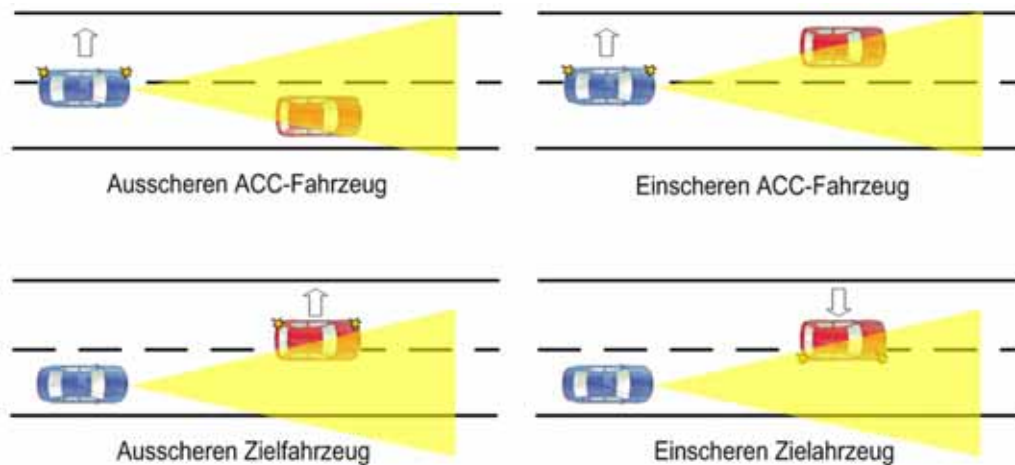


Abbildung 4-9: Fahrsituation: Aus- und Einschermanöver

Zur Erkennung von Ein- und Ausschersituationen ist es notwendig die laterale Lage der Zielfahrzeuge und möglichst auch ihre laterale Geschwindigkeit bezogen auf das fahrzeugfeste Koordinatensystem zu kennen. Aus der Kenntnis der lateralen Geschwindigkeit des Zielfahrzeugs, seiner lateralen Position absolut zum ACC-Fahrzeug und dem prädierten Fahrstreifen lässt sich ein Streifenwechsel frühzeitig erkennen. Laut Domsch<sup>43</sup> ist die Winkelauflösung der aktuellen Radarsensoren problematisch, die eine Erfassung der lateralen Geschwindigkeit mit der benötigten Genauigkeit nicht ermöglichen. Für eine verbesserte Bestimmung der lateralen Geschwindigkeit des Zielfahrzeugs ist eine verbesserte Winkelauflösung der Radarsensoren notwendig. Diese lässt sich durch größere Antennen erreichen. Nachteilig hierbei sind die höheren Kosten für die Sensoren und ihre zumindest in der Breite zunehmenden äußeren Abmessungen. Für die Bestimmung der lateralen Geschwindigkeit erscheinen nach Aussagen von Domsch<sup>44</sup> scannende Systeme (Lidar oder Radar) wegen ihrer höheren lateralen Auflösung besser geeignet.

Zur Bestimmung des horizontalen Winkelbereichs ist es wichtig zu wissen mit welchen Abständen durchschnittliche Fahrer vor oder hinter fremden Fahrzeugen einscheren. Die Zeitlücke bei dem Einscherbeginn variiert gemäß den Aussagen von Fecher, Filzek und Winner<sup>45</sup> zwischen 0,7 und 3,0 s. Bei Ehmanns<sup>46</sup> finden sich folgende experimentell ermittelten Werte für die vorhandene Zeitlücke:

- Einscheren vor einem Fahrzeug: 0,3 bis 1,7 s
- Einscheren hinter einem Fahrzeug: 0,3 bis 3,0 s.

<sup>43</sup> Domsch: Testverfahren ACC, 2000, S. 10

<sup>44</sup> Domsch: Testverfahren ACC, 2000, S. 8

<sup>45</sup> Fecher, Filzek, Winner: Fahrerverhalten und ACC-Funktion in Ein- und Ausschersituationen, 2002, Folie 7

<sup>46</sup> Ehmanns: Simulationsmodell des menschlichen Streifenwechselverhaltens, 2001, S. 213

Zusätzlich werden bei Fastenmeier<sup>47</sup> Streifenwechselsituationen als kritisch klassifiziert, in denen die Zeitlücke kleiner oder gleich 0,6 s ist. In diesen Situationen besteht die Forderung, dass ACC als Komfortsystem den Fahrer akustisch und/oder visuell darauf hinweist, um die Notwendigkeit eines fahrerbezogenen Eingreifens sicherzustellen. Im Vergleich dazu wird als kleinste Wunschzeitlücke gemäß ISO 15622 ein Wert von 1 s festgelegt.

Als maximale Verzögerung, mit denen das ACC-System auf ein einscherendes Fahrzeug reagiert, werden  $3 \text{ m/s}^2$  im Geschwindigkeitsbereich über 30 km/h angesetzt<sup>48</sup>. Bei einem Stop-and-Go tauglichen ACC, welches Geschwindigkeiten unter 30 km/h zulässt, sind Verzögerungen<sup>49</sup> bis  $4 \text{ m/s}^2$  möglich.

Eine weitere Grenze bildet der kleinste messbare Abstand der verwendeten Sensoren. Es wird zunächst von einem idealisierten Sensor ausgegangen, dessen kleinster messbarer Abstand in Anlehnung an die bereits entwickelten 24 GHz Nahbereichssensoren bei 0,1 m liegt.

Ein Ansatz zur Bestimmung des benötigten horizontalen Öffnungswinkels ergibt sich aus Formel (4.5), dessen Zusammenhang in Abbildung 4-10 dargestellt ist:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{y}{d}\right). \quad (4.5)$$

Mit der obigen Gleichung lässt sich der notwendige horizontale Öffnungswinkel  $\alpha$  in Abhängigkeit von der halben Fahrschlauchbreite<sup>50</sup>  $y$  und dem Abstand  $d$  zum Einscherer bestimmen.

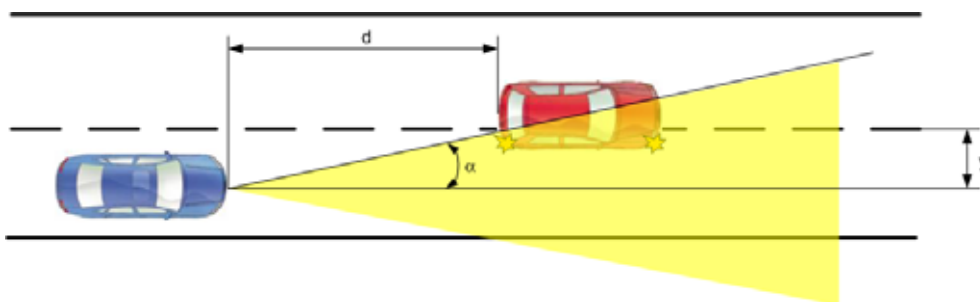


Abbildung 4-10: Geometriegrößen zur Bestimmung des horizontalen Öffnungswinkels

Zur Bestimmung einer für ACC-Systeme geeigneten Fahrschlauchbreite wird folgende Überlegung herangezogen<sup>51</sup>: Ein durchschnittlicher Fahrstreifen ist 3,5 m breit. Das bedeutet, dass sich alle Objekte innerhalb eines Bereichs von  $\pm 1,75 \text{ m}$  zur Kursmitte des ACC-Fahrzeugs im eigenen Fahrstreifen befinden. Zutreffend ist diese Aussage allerdings nur, wenn sich das ACC-Fahrzeug genau in der Mitte des eigenen Fahrstreifens befindet, und auch der Sensor

<sup>47</sup> Fastenmeier: Risikopotentialabschätzung Streifenwechsel-Assistenz, 2001, S. 177

<sup>48</sup> ISO 15622, 2002, S. 9

<sup>49</sup> DISTRONIC Plus-Internet Quelle, 2006

<sup>50</sup> Vgl. Definition in Kapitel 4.4

<sup>51</sup> Winner: FAS Vorlesungsskript, 2005, Kapitel 6, S. 93f

mittig am Fahrzeug montiert ist. Befindet sich das ACC-Fahrzeug nicht mittig in seinem Fahrstreifen, so können Fahrzeuge in dem Nachbarstreifen fälschlicherweise dem eigenen Fahrstreifen zugeordnet werden (Abbildung 4-11).

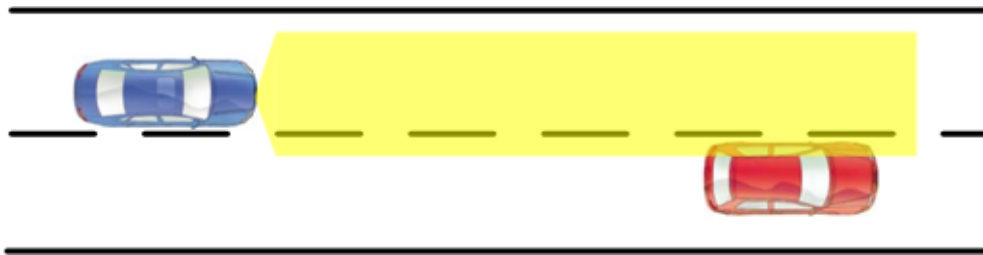


Abbildung 4-11: Problem einer zu großen Fahrschlauchbreite

Zur Behebung dieses Problems wird für die weiteren Überlegungen die Fahrschlauchbreite auf 2,4 m festgelegt. Es werden nur Fahrzeuge innerhalb eines Bereich von  $\pm 1,2$  m zur Kursmitte des Fahrstreifens des ACC-Fahrzeugs zugeordnet.

Für diese angenommene Fahrschlauchbreite ergibt sich der in Abbildung 4-12 dargestellte Zusammenhang von horizontalem Öffnungswinkel und Abstand zum einscherenden Fahrzeug.

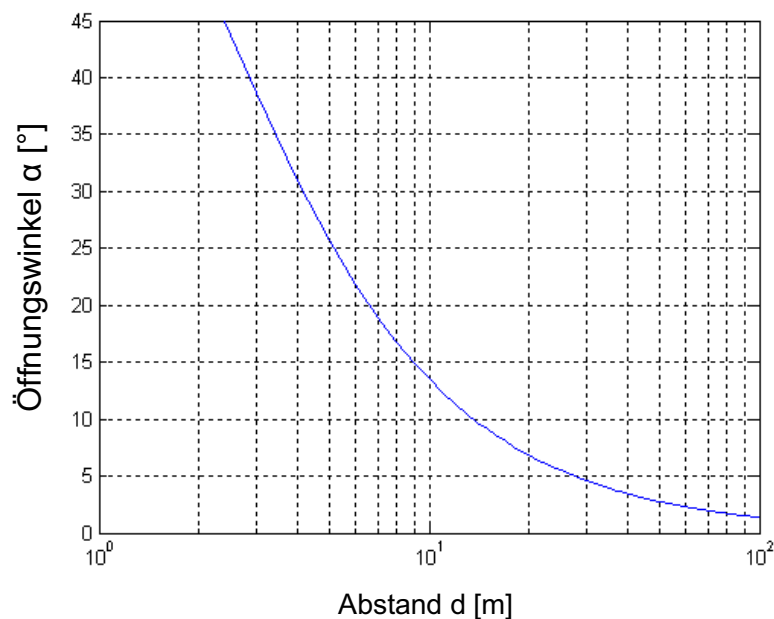


Abbildung 4-12: Öffnungswinkel in Abhängigkeit vom Einscherabstand für einen Einzelsensor in mittiger Einbauposition



### 4.3.3 Sichtbereichsansatz über die Betrachtung des Manövrierraumes

Einen weiteren Ansatz zur Bestimmung des nötigen Erfassungsbereichs liefert Adiprasito<sup>52</sup>. Der Erfassungsbereich wird über den Manövrierraum definiert. Als Manövrierraum ist der Bereich zu verstehen, in dem sich das ACC-Fahrzeug potentiell bewegen kann.

Dieser Manövrierraum ist abhängig von der Fahrgeschwindigkeit des ACC-Fahrzeugs, der vom Fahrer akzeptierten Querbeschleunigung und Längsverzögerung sowie der Reaktionszeit des ACC-Systems.

Aus der von einem durchschnittlichen Fahrer noch als komfortabel empfundenen Querbeschleunigung nach Abbildung 4-7 ergeben sich die möglichen Kurvenradien für den Kurs des ACC-Fahrzeugs gemäß nachfolgender Formel:

$$R = \frac{v_{ACC}^2}{a_y} \quad (4.6)$$

Der größte Manövrierraum ergibt sich für die maximal akzeptierte Querbeschleunigung von  $a_{y,max} = 4 \text{ m/s}^2$ . Die Fahrgeschwindigkeit  $v_{ACC}$  ist der wählbare Parameter.

Der Anhalteweg  $s_h$  liefert die zweite Bestimmungsgleichung für den Manövrierraum:

$$s_h = -\frac{1}{2} \cdot \frac{v_{ACC}^2}{a_x} + t_r \cdot v_{ACC} \quad (4.7)$$

Die Geschwindigkeit des ACC-Fahrzeugs  $v_{ACC}$  ist wieder der wählbare Parameter. Für eine maximale Längsverzögerung  $a_x = 4 \text{ m/s}^2$  und einer Reaktionszeit<sup>53</sup>  $t_r$  des ACC-Systems von 0,5 s ergibt sich der in der folgenden Abbildung dargestellte Manövrierraum. Zu beachten ist, dass die Breite des Egofahrzeugs bei der Dimensionierung des Manövrierraumes nicht berücksichtigt wird. Daher müsste der Manövrierraum jeweils seitlich um eine halbe Fahrzeugbreite erweitert werden.

<sup>52</sup> Adiprasito: FAS bei Längsführung von Kfz, 2001, S. 268

<sup>53</sup> Uhler: Systemkonzept eines erweiterten ACC, 2000, S. 573

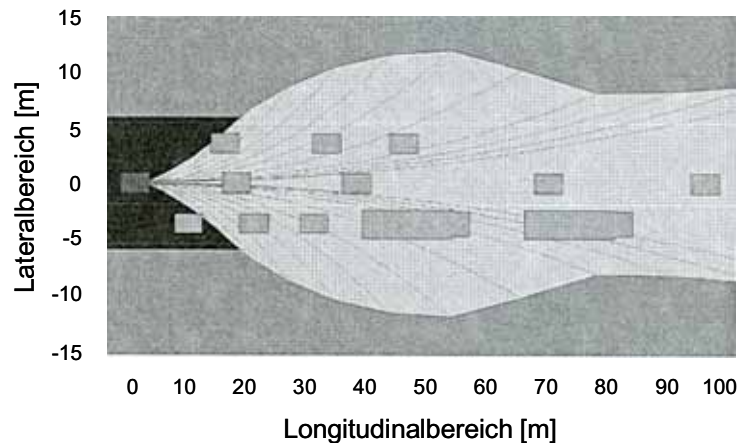


Abbildung 4-13: Manövrierraum von Kraftfahrzeugen (Quelle: Adiprasito, *FAS bei Längsführung von Kfz*, 2001, S. 269)

Diesen Manövrierraum möglichst lückenlos mit den vorhandenen Sensoren abzudecken ist Ziel des hier dargestellten Ansatzes. Generell ergibt sich im Vergleich mit den bisherigen ACC-Systemen eine Winkelbereichsaufweitung für den nahen und mittleren Entfernungsbereich bis ca. 80 m.

#### 4.3.4 Ansätze zur Bestimmung der benötigten Sensorreichweite

Zur Bestimmung einer optimalen Sensorreichweite ist es hilfreich zunächst die auf die Reichweite bezogene menschliche Erfassungsfähigkeit zu betrachten. Die Ergebnisse von Hoefs<sup>54</sup> sprechen nicht gegen die Annahme, dass der Fahrer frühestens bei einem Folgeabstand von 150 m auf Änderungen der Relativgeschwindigkeit zwischen seinem und dem vorausfahrenden Fahrzeug mit einer Geschwindigkeitsänderung reagiert.

Auch Uhler<sup>55</sup> kommt zu dem Schluss, dass eine maximale Sensorreichweite von 150 m ausreichend ist, da eine zuverlässige Kursprädiktion bei größeren Abständen kaum möglich ist. Die notwendige Reichweite wird verringert, indem die zulässige Höchstgeschwindigkeit für eine ACC-Fahrt und der dabei benötigte Abstand betrachtet wird (Abbildung 4-14).

<sup>54</sup> Hoefs: *Fahrerverhalten in Fahrzeugkolonnen*, 1972, S. 78ff

<sup>55</sup> Uhler: *Systemkonzept eines erweiterten ACC*, 2000, S. 575

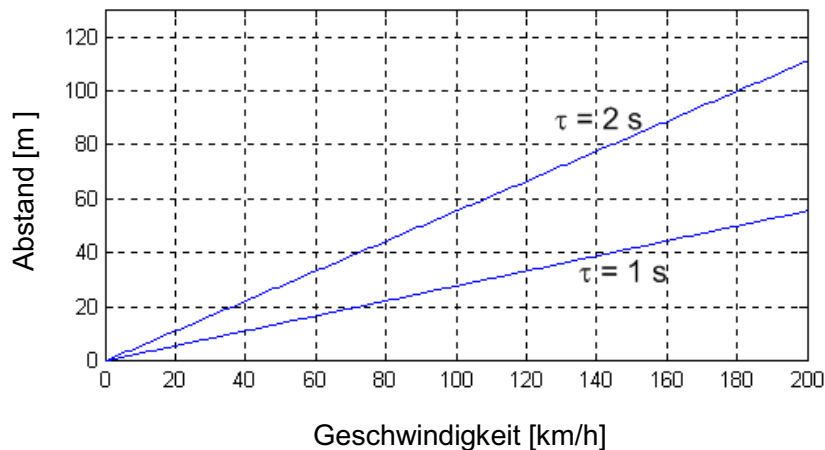


Abbildung 4-14: Abstand in Abhängigkeit von Zeitlücke und Geschwindigkeit

Der benötigte Folgeabstand  $d$  ergibt sich aus der Fahrgeschwindigkeit  $v$  und der Zeitlücke  $\tau$ .

$$d = v \cdot \tau \quad (4.8)$$

Für eine Abschätzung der Sensorreichweite dient die folgende Überlegung, wobei jeweils von den maximal zu wählenden Einstellparametern bei Annäherungssituationen ausgegangen wird („worst case“-Betrachtung). Bei einer Fahrt mit der bei ACC-Systemen augenblicklich maximal zu wählenden Wunschgeschwindigkeit von 200 km/h und einer Zeitlücke von 2,0 s ergibt sich eine benötigte Sensorreichweite von 111 m. Wird eine konstante Regelreserve von 10 m berücksichtigt, so liegt die tatsächlich benötigte Sensorreichweite bei 121 m. Eine weitere Vergrößerung der notwendigen Reichweite ergibt sich, wenn die Ansprechzeit der gesamten Aktorik und Sensorik berücksichtigt wird. Dies sind die Zeiten, die benötigt werden, um die Daten zu erfassen und zu verarbeiten. Zu diesen Totzeiten addiert sich noch die Schwellzeit der Bremse. Alle diese Zeiten können zur Reaktionszeit  $t_r$  des ACC-Systems addiert werden. Nach Uhler<sup>56</sup> wird für ein ACC-System eine Reaktionszeit von 0,5 s berücksichtigt. Dies ergibt eine notwendige Sensorreichweite für den Fall eines Annäherungsvorganges von 148 m.

<sup>56</sup> Uhler: Systemkonzept eines erweiterten ACC, 2000, S. 573

### 4.3.5 Fazit

Für die „worst-case“-Betrachtung ist ein horizontaler Winkelbereich zu bestimmen, der einen Einscherer im Abstand von 1 m mit einem lateralen Versatz von 1,2 m erfasst. Für diese Situation ergibt sich aus Abbildung 4-12 und der entsprechenden Gleichung ein Wert für den Sensoröffnungswinkel von  $\pm 50^\circ$ . Dies ist ein Winkelbereich, der sich augenblicklich mit einer Single-Sensorlösung nur mit einem Laserscanner, wie er von IBEO als Muster erhältlich ist, erfassen lässt. Besteht die Forderung, dass Radarsensoren genutzt werden, so ist für den Fall der knappen Einscherer ein scannender Sensor bzw. eine Multisensorlösung mit über die Fahrzeugbreite verteilten Sensoren zu realisieren, ähnlich dem Ansatz von Daimler-Chrysler mit der Distronic Plus in der aktuellen S-Klasse. Zum Vergleich: Bei einem ACC-Sensor der ersten Generation mit einem Öffnungswinkel von  $\pm 4^\circ$  ist eine vollständige Abdeckung der angenommenen Fahrschlauchbreite von 2,4 m in einer Entfernung von 17,2 m, mit einem ACC-Sensor der zweiten Generation und einem Öffnungswinkel von  $\pm 8^\circ$  ab 8,5 m möglich. Die benötigte longitudinale Sensorreichweite wird mit knapp 150 m benannt.

## 4.4 Zielauswahl

Die in Kapitel 4.3 formulierten Anforderungen an den Sichtbereich führen auf den für die Zielauswahl relevanten so genannten Fahrschlauch:

Der Fahrschlauch kennzeichnet den Bereich vor dem ACC-Fahrzeug in dessen Fahrtrichtung. Er ist insbesondere durch seine Breite, welche in etwa der Fahrstreifenbreite entspricht, charakterisiert. Der Fahrschlauch ist insoweit zur Bestimmung des Erfassungsbereichs wichtig, weil die vorhandene Fahrschlauchbreite vom verwendeten Sensor zu erfassen ist, damit Objekte im Fahrschlauch in der Regelung berücksichtigt werden.

Der Fahrschlauch ergibt sich aus dem Kurs des ACC-Fahrzeugs. Über die vorhandenen Sensoren (Gierrate, Lenkradwinkel) wird eine Kursprädiktion vorgenommen. Die Basisgröße ist hierbei die Trajektorienkrümmung. Sie beschreibt die Richtungsänderung des ACC-Fahrzeugs als Funktion des zurückgelegten Wegs<sup>57</sup>.

Weitere Verfahren zur Kursprädiktion sind der Gewinn von Krümmungsinformationen aus GPS-Daten oder die videobasierte Streifenkennung. Diese beiden Verfahren werden bei heutigen ACC-Systemen noch nicht verwendet.

### 4.4.1 Funktionsweise der Zielobjekterkennung

Die Entscheidung, ob ein Fahrzeug ein Zielobjekt ist oder nicht, geschieht über eine Plausibilitätskennzahl, die für jedes vorausfahrende und erfasste Fahrzeug errechnet wird. Dabei wird der Fahrschlauch in drei Zonen aufgeteilt (Abbildung 4-15). Einen inneren Bereich (grün gestrichelt), einen mittleren Bereich (blau durchgezogen) und einen äußeren Bereich (rot gepunktet).

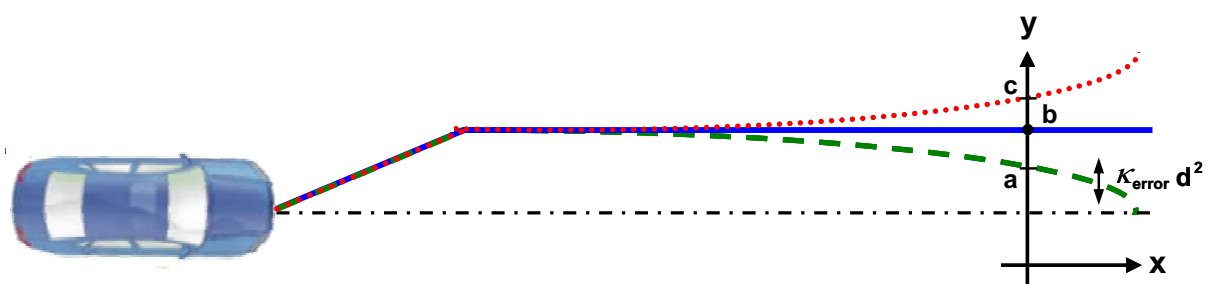


Abbildung 4-15: Erfassungsraum [Quelle: nach Winner, H.]

$$\kappa_{\text{error}} = \kappa_{0,\text{error}} + \alpha |\kappa_{\text{aktuell}}| \quad (4.9)$$

<sup>57</sup> Winner et. al.: Gelbe Seiten ACC, 2002, S. 35

„κ“ steht für die Kurskrümmung. In dem inneren Bereich des Fahrschlauches werden Fehler bei der Berechnung einer möglichen Kurskrümmung stärker berücksichtigt. Eine Spurwahrscheinlichkeit wird in Abhängigkeit des Bereiches, in dem sich ein Fahrzeug befindet, errechnet (Abbildung 4-16).

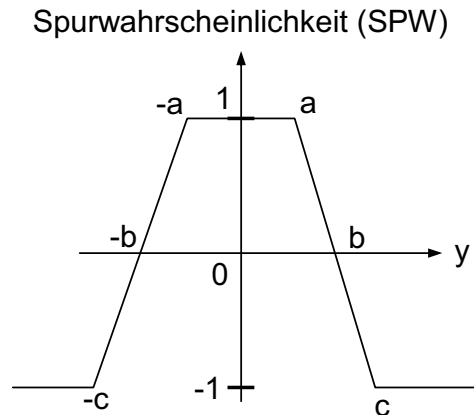


Abbildung 4-16: Erklärung der Spurwahrscheinlichkeit (SPW) [Quelle: nach Winner, H.]

Aus der Spurwahrscheinlichkeit ergibt sich die Änderung der Plausibilitätskennzahl: In Abhängigkeit des Vorzeichens entscheidet sich, ob die Plausibilität steigt oder fällt (Abbildung 4-17).

Bei einer positiven Spurwahrscheinlichkeit steigt die Plausibilität maximal bis auf einen Wert von 1 an, während sie bei einer negativen Spurwahrscheinlichkeit bis auf einen Minimalwert von Null fällt. Ab einem Plausibilitätswert von 0,4 kommt ein Fahrzeug als Zielobjekt in Frage. Wenn der Wert unter 0,2 fällt, wird das Fahrzeug nicht mehr als Zielobjekt betrachtet. Aufgrund dieses Zusammenhangs ist es für ein bereits detektiertes vorausfahrendes Objekt leichter ein Zielobjekt zu bleiben, als ein Zielobjekt zu werden.

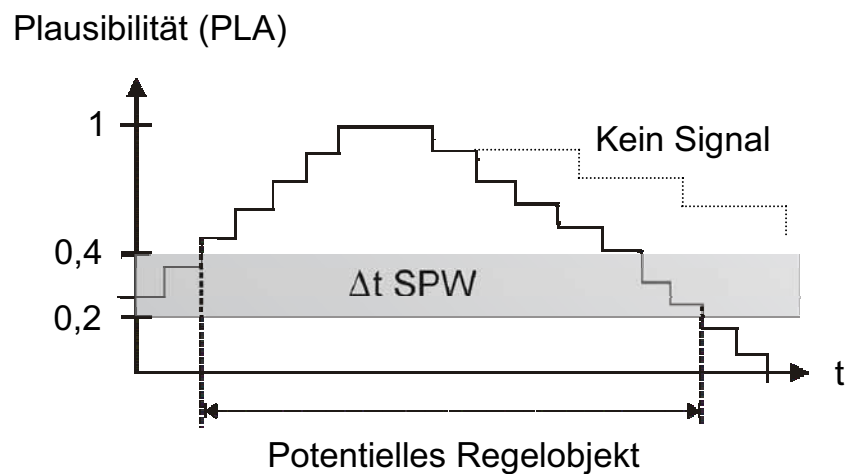


Abbildung 4-17: Plausibilitätsverlauf potentielles Regelobjekt [Quelle: nach Winner, H.]

Es ist wahrscheinlicher, dass ein bestehendes Zielobjekt das richtige Zielobjekt bleibt, als dass ein neues Fahrzeug zum Zielobjekt wird. Bei einer Folgefahrt kann so Zielverlusten vorgebeugt werden. Gelangt durch den Ausfall der Zielobjekterfassung kein Signal mehr zum Regler, fällt der Plausibilitätswert langsamer ab als bei einem negativen Wert. So kann bei kurzzeitigem Aussetzen der Erfassung (drop-out) die ACC-Funktionalität, also die Regelung auf ein Zielobjekt, erhalten bleiben. Diese Verzögerung kann bewirken, dass ein ausscherendes Fahrzeug vom ACC-System länger als Zielobjekt verwendet wird, als es der Mensch als Zielobjekt ansehen würde.

Bei der Bestimmung der optimalen Fahrschlauchbreite besteht somit ein Zielkonflikt. Zum einen wird eine sichere Zuordnung von Zielobjekten zum eigenen Fahrstreifen gefordert. Dies ist nur mit einem relativ schmalen Fahrschlauch möglich. Auf der anderen Seite besteht die Notwendigkeit, dass das System auch auf Fahrzeuge reagiert, die vor dem ACC-Fahrzeug einscheren. Um diese Fahrzeuge frühzeitig zu erfassen, wäre ein breiter Fahrschlauch besser geeignet.

Aus den Überlegungen zur Fahrschlauchkontur können zusammenfassend zwei qualitative, gegenläufige Anforderungen für den horizontalen Winkelbereich formuliert werden:

- ein großer Öffnungswinkel zur Erfassung des Fahrschlauchs möglichst auch direkt vor dem ACC-Fahrzeug
- ein kleinerer Öffnungswinkel, um nur die eigene Fahrschlauchbreite abzudecken.

Es existiert also keine ideale Fahrschlauchbreite. Vielmehr ist ein Kompromiss zwischen zuverlässiger Zuordnung von Zielfahrzeugen zum Fahrstreifen des ACC-Fahrzeugs und Störungen durch Fahrzeuge in den Nachbarfahrstreifen einzugehen (Kapitel 6.5).

## 4.5 Bewertungsverfahren

Um objektive Vergleiche bei der Untersuchung von ACC-Systemen durchführen zu können, wird innerhalb dieses Unterkapitels ein Bewertungsverfahren vorgestellt.

Bewertungsverfahren lassen sich nach Pauschert<sup>58</sup> einteilen in qualitative und quantitative Bewertungsverfahren. Bei den quantitativen Bewertungen wird unterschieden zwischen eindimensionalen und mehrdimensionalen Zielgrößen (Abbildung 4-18).

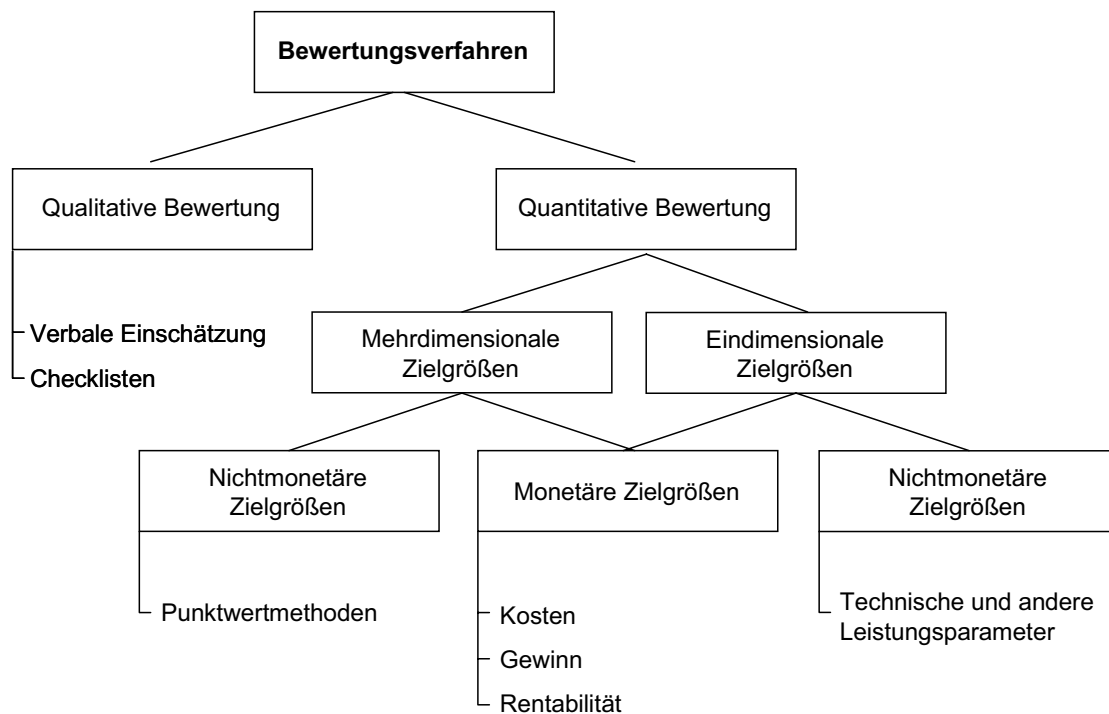


Abbildung 4-18: Darstellung von Bewertungsverfahren nach Pauschert

Bei der Erstellung des Bewertungsschemas orientierten sich erste Überlegungen an einem Punktebewertungsverfahren, ähnlich den Bewertungsverfahren großer deutscher Automobilzeitschriften. Nach vielfachen Problemen mit Definitionen, die die Objektivität einschränkten, wurde die Idee des Punktebewertungssystems verworfen.

### 4.5.1 Der Benchmarking-Ansatz

„Das Benchmarking stellt die Suche nach Lösungen dar, die auf den besten Methoden und Verfahren der Industrie, den „best practices“, basieren und ein Unternehmen zu Spitzenleistungen führen“ (Robert C. Camp<sup>59</sup>).

<sup>58</sup> Pauschert: Benchmarking und Innovation, 1999, S. 34ff

<sup>59</sup> Camp: Benchmarking, 1994, S. 8



Zur Bewertung verschiedener ACC-Systeme werden folgende Schritte vorgeschlagen:

1. Zuerst ist ein Abbild der Möglichkeiten des ACC-Systems durch die Analyse der Leistungsmerkmale zu erstellen.
2. Dann erfolgt anhand der in der ISO 15622 bestimmten Grenzwerte eine Überprüfung der zu erfassenden Werte und der ISO 15622-Norm-Konformität.
3. Daraufhin werden die Daten des ACC-Systems in einen Systemvergleichsdatensatz eingetragen und dort in Diagrammen verglichen. In diesen Diagrammen wird ebenso, falls vorhanden, der ISO 15622-Wert angezeigt.
4. Im Anschluss daran wird das System aufgrund des Systemvergleichsdatensatzes qualitativ und im Vergleich stehend objektiv beschrieben. Hier werden sämtliche Auffälligkeiten, die aus den erfassten Daten nicht zu erkennen sind, erwähnt z.B. aufgetretene Probleme und neuartige Bedienungsverfahren oder Extras.

Zur praktischen Anwendung wurde ein Testbogen erstellt, welcher u.a. in einer Veröffentlichung<sup>60</sup> vorgestellt wurde.

---

<sup>60</sup> Luh: ACC Sensorplattform, 2005, S. 23

## 5 Methodik

Die Methodik der Vorgehensweise richtet sich nach den in Kapitel 1.2 formulierten Untersuchungszielen und wird in den nachfolgenden Unterkapiteln erläutert. Dabei wurden bereits vorliegende wissenschaftliche Arbeiten gemäß dem Stand der Forschung<sup>61</sup> berücksichtigt.

### 5.1 Versuchskonzept

Das Versuchskonzept zur Untersuchung des Einflusses des horizontalen Radarsensorsichtbereiches auf die Systemperformance basiert auf einem subjektiv-objektiv Vergleich von zwei Sensorsichtbereichsvarianten, der in einem Probandentest durchgeführt wurde. Probandenversuche stellen eine etablierte Methode dar, um Fahrerassistenzsysteme hinsichtlich ihrer Eigenschaften zu bewerten<sup>62</sup>.

Die dem Untersuchungsziel zugrunde liegenden Hypothesen sind im Anhang 10.2 aufgeführt und werden auszugsweise bei der Darstellung der Versuchsergebnisse benannt. Die Hypothesen beziehen sich auf die Wahrnehmung der Probanden hinsichtlich einer Veränderung des horizontalen Sichtbereichs des Radarsensors. Diese Hypothesen bilden gleichzeitig die Basis für eine Untersuchung der aus den Messdaten erhaltenen Ergebnisse.

Die Ergebnisse und die daraus abgeleiteten Aussagen wurden mit der in Abbildung 5-1 beschriebenen Vorgehensweise ermittelt.

Im Gegensatz zu der Probandenversuchsreihe weicht die Fahrschlauchuntersuchung von der beschriebenen Vorgehensweise ab. Hier wurden keine Probanden zur Beurteilung miteinbezogen, sondern ein rein auf den objektiv feststellbaren Messgrößen basierender Versuchsansatz gewählt.

---

<sup>61</sup> Hier sind beispielsweise die Arbeiten von Abendroth: Gestaltungspotenzial Pkw-Abstandsregelsystem, 2001; Bielaczek: Fahrerbeeinflussung auf Fahrsicherheit beim PKW-Fahren, 1998; Didier: Verfahren zur Messung des Komforts bei Abstandsregelsystemen, 2006; Fecher: Stationäres Folgeverhalten von Pkw-Fahrerführern, 2005; Filzek: Fahrer und ACC Abstandsverhalten, 2002 und Weinberger: Einfluss von ACC auf das Fahrverhalten, 2001 zu nennen.

<sup>62</sup> Bengler; Mayser: Probandenversuche, 2003, S. 79

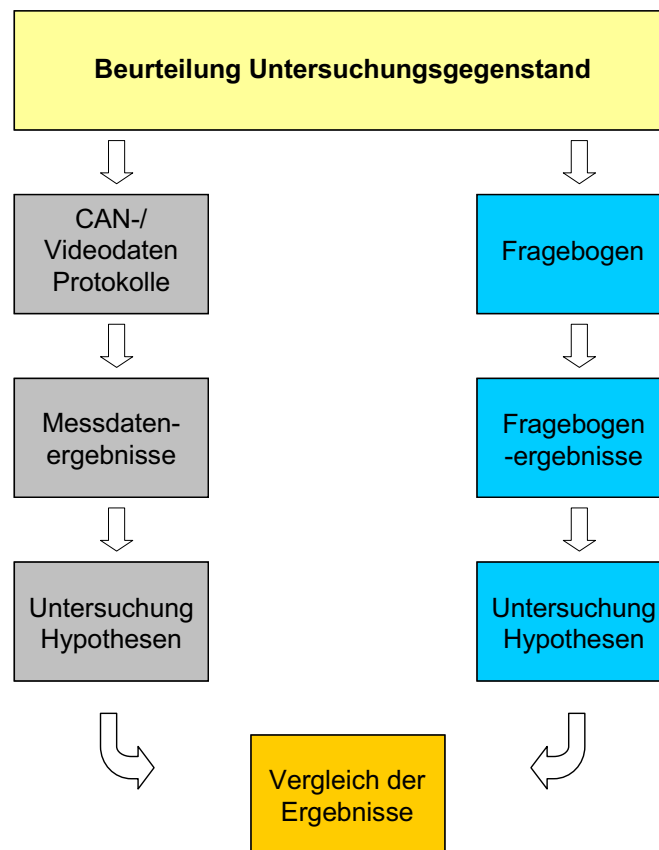


Abbildung 5-1: Vorgehensweise Probandenversuche

Die dargestellte Methodik entspricht dem „Beurteilungskreislauf: Korrelation subjektiver und objektiver Daten“ gemäß Kudritzki<sup>63</sup>.

### 5.1.1 Versuchsstrecke und –ablauf

Laut Becker et. al.<sup>64</sup> besteht zur Erzielung einer höheren Validität der Versuchsergebnisse und zur Untersuchung der Fahrsituationen in der Gesamtheit die Forderung, dass sich die Versuchsfahrt so nah wie möglich an der realen Nutzung orientiert. Bei der Streckenauswahl wurde dies zum einen für die beabsichtigte Untersuchung eines ACC-Systems und der vorgesehenen Nutzung auf der Autobahn bzw. autobahnähnlichen Strecken, zum anderen gezielt für die Untersuchung der Kurventauglichkeit mit entsprechenden Landstraßenabschnitten berücksichtigt. Die Verteilung der mittleren Kurvenradien und Geschwindigkeiten bzw. die Verkehrsbelastung ist Anhang 10.5 dargestellt. Die Charakteristik der Versuchsstrecke ist der nachfolgenden Abbildung zu entnehmen.

<sup>63</sup> Kudritzki: Objektivierung subjektiver Beurteilungen, 1998, S. 8f

<sup>64</sup> Becker et. al.: Experience with autonomous intelligent cruise control, 1994, S. 1836ff

Der Rundkurs hat eine Länge von insgesamt 191 km, für die je nach Verkehrsaufkommen eine Fahrzeit von 2 bis 2 ½ Stunden benötigt wurde.

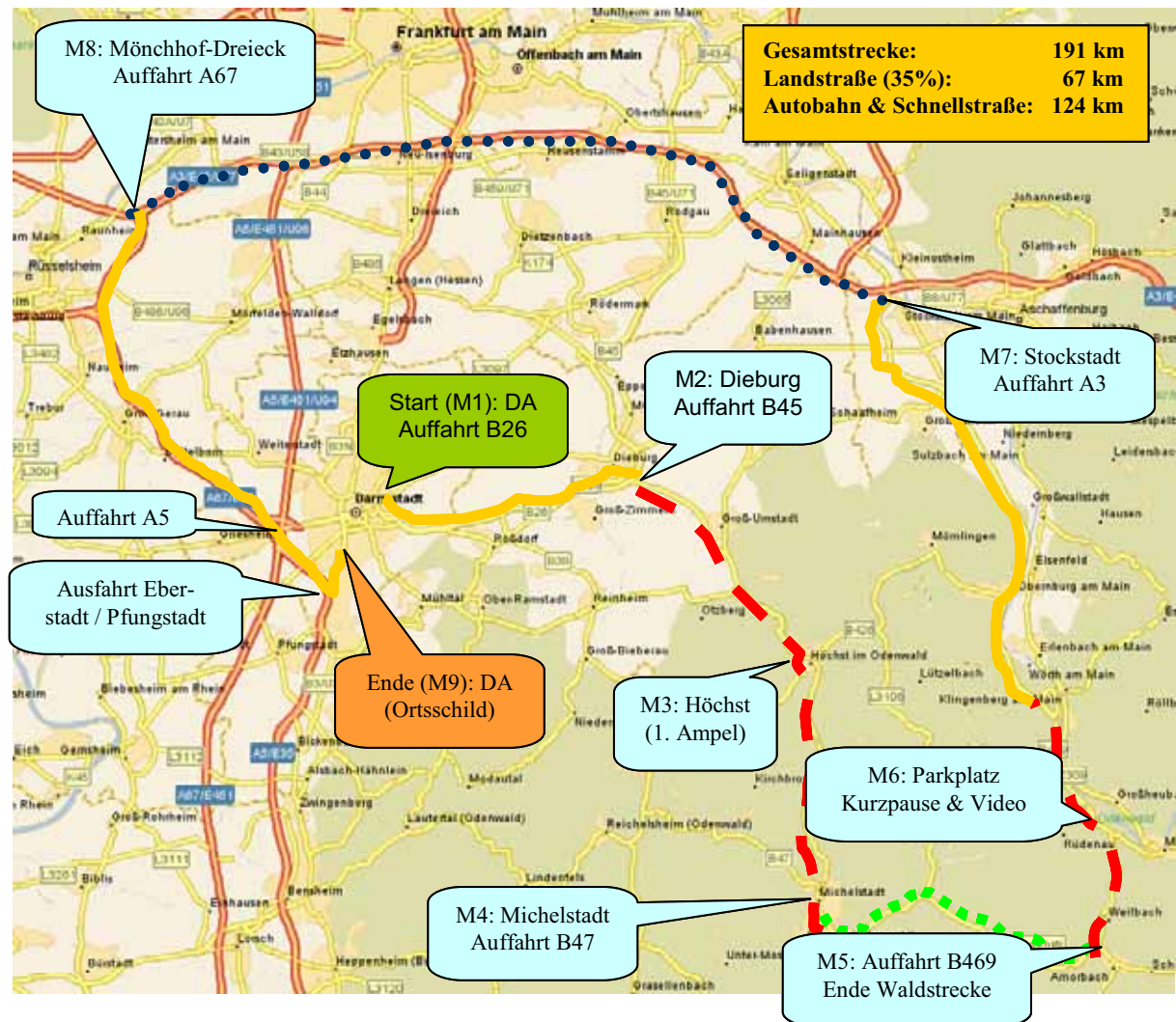


Abbildung 5-2: Versuchsstrecke Probandenversuch

Kategorie 1 - kurvenarme Landstraße: - - - - -

Die Fahrdauer auf diesem Teil der Strecke betrug durchschnittlich 36 Minuten bei einer Länge von ca. 46 km. Sie ist kurvenarm, größtenteils einstreifig, beinhaltet aber auch einige Abschnitte mit einem zweiten Überhol- und Abbiegestreifen. Zudem gibt es mehrere Ortsdurchfahrten und Lichtsignalanlagen.



Abbildung 5-3: Streckenabschnitt der Kategorie 1, kurvenarme Landstraße

Kategorie 2 - kurvenreiche Landstraße (mit Haarnadelkurven): ■■■■■■■■■■

Diese Kategorie entspricht dem kürzesten Teil der Strecke, mit einer durchschnittlichen Fahrdauer von 19 Minuten bei einer Länge von ca. 21 km. Die Landstraße ist auf allen Teilen der Strecke einstreifig und enthält mehrere Haarnadelkurven.



Abbildung 5-4: Streckenabschnitt der Kategorie 2, kurvenreiche Landstraße

Kategorie 3 - zweistreifige Autobahn / Kraftfahrstraße: —————

Die Fahrdauer auf diesem Streckenabschnitt betrug durchschnittlich 55 Minuten bei einer Länge von ca. 78 km und es herrschte ein höheres Verkehrsaufkommen als auf den beiden vorherigen Streckenkategorien. Zusammen mit der vierten Kategorie ist es das Einsatzgebiet, für das augenblickliche ACC-Systeme entwickelt wurden.



Abbildung 5-5: Streckenabschnitt der Kategorie 3, zweistreifige BAB/BAB-ähnlich

Kategorie 4 - drei- bis fünfstreifige Autobahn: ●●●●●●●●●●

Die Durchfahrt der Autobahn dieser Kategorie betrug durchschnittlich 22 Minuten bei einer Länge von ca. 46 km.



Abbildung 5-6: Streckenabschnitt der Kategorie 4, drei- bis fünfstreifige BAB

Die Versuchsfahrten wurden von einem Versuchsleiter begleitet, dessen Aufgabe es war, den Probanden den Streckenverlauf mitzuteilen und das Fahrprotokoll (Kapitel 5.1.3.3) auszufüllen. Der Tagesablauf der Probandenversuche gliederte sich wie folgt:

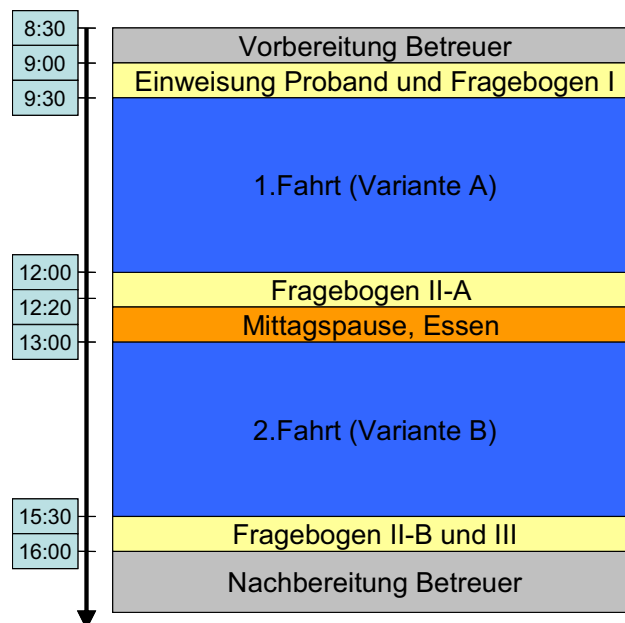


Abbildung 5-7: Tagesablauf Probandenversuche

Um die Unterschiede zwischen den Probanden bezogen auf den Kenntnisstand der Bedienung des ACC-Systems gering zu halten, haben sich die Probanden vor der ersten Fahrt mit der Bedienungsanleitung für das ACC-System vertraut gemacht. Am Fahrzeug erfolgte eine zusätzliche Einweisung. Auf Vorgaben während der Fahrt wurde weitestgehend verzichtet, um den von den Probanden gewohnten Fahrstil möglichst wenig zu beeinflussen. Zu Beginn wur-

de betont, dass als Fahraufgabe eine hohe Nutzungshäufigkeit des ACC-Systems erwünscht ist.

Von den Probanden wurde eine Sichtbereichsversion am Morgen und eine andere am Nachmittag gefahren, d.h. nach beiden Fahrten war gemäß den Aussagen von Nirschl<sup>65</sup> ein Vergleich der beiden Versionen möglich. Die Reihenfolge der Sichtbereichsversionen<sup>66</sup> wurde permutiert, so dass gleich viele Probanden mit der  $\pm 4^\circ$ - bzw. mit der  $\pm 8^\circ$ -Version begonnen haben. Es wurde anhand der Versuchsplanung darauf geachtet, dass die Randbedingungen (Tagesablauf, Wochentage usw.) für die Versuche möglichst konstant gehalten wurden und vergleichbare Fahrsituationen als Basis für die Bewertung von jedem Proband gefahren werden konnten.

### 5.1.2 Probandenkollektiv

Die Zusammensetzung des Probandenkollektivs war so zu gestalten, dass es repräsentativ für das Nutzerkollektiv ist und war so auszuwählen, dass es möglichst den Eigenschaften der typischen Nutzergruppe entspricht<sup>67</sup>. Zu den versuchsbeeinflussenden Parametern zählen nicht nur äußere Einflüsse, sondern auch solche, die sich durch die Auswahl des Probandenkollektivs ergeben. Die Probanden des Kollektivs können den Einfluss der nicht abhängigen Variablen auf die gewünschten Effekte durch das Mitwirken der eigenen Effekte verfälschen (Abbildung 5-8).

Hierzu zählen zum Beispiel das Geschlecht, das Alter, der Fahrstil oder (Fahr-) Erfahrungen. Solche Einflussfaktoren wurden bereits in früheren Untersuchungen unter anderem bei Landau<sup>68</sup> oder Winner<sup>69</sup> zu anderen Sachverhalten nachgewiesen. Nachfolgend werden die Größe, die demographischen Daten und die Fahrerfahrung des ausgewählten Probandenkollektivs beschrieben.

---

<sup>65</sup> Nirschl: Untersuchung des Zusammenwirkens zw. Fahrer und ACC, 1997, S. 119ff

<sup>66</sup> Die implementierte ACC-Funktion entspricht einer an das Seriensystem angelehnten ACC-Funktion (Stand Audi A6, 2005).

<sup>67</sup> Anmerkung: Der Fokus der Untersuchung zielt darauf ab, innerhalb der Grundgesamtheit der ACC-Nutzer den Gewinn einer Sichtbereichserweiterung zu ermitteln.

<sup>68</sup> Landau: Methoden zur Erfassung des Fahrerverhaltens, 2003, S. 47

<sup>69</sup> Winner et. al.: Fahrversuche mit Probanden, 2003, S. 18ff

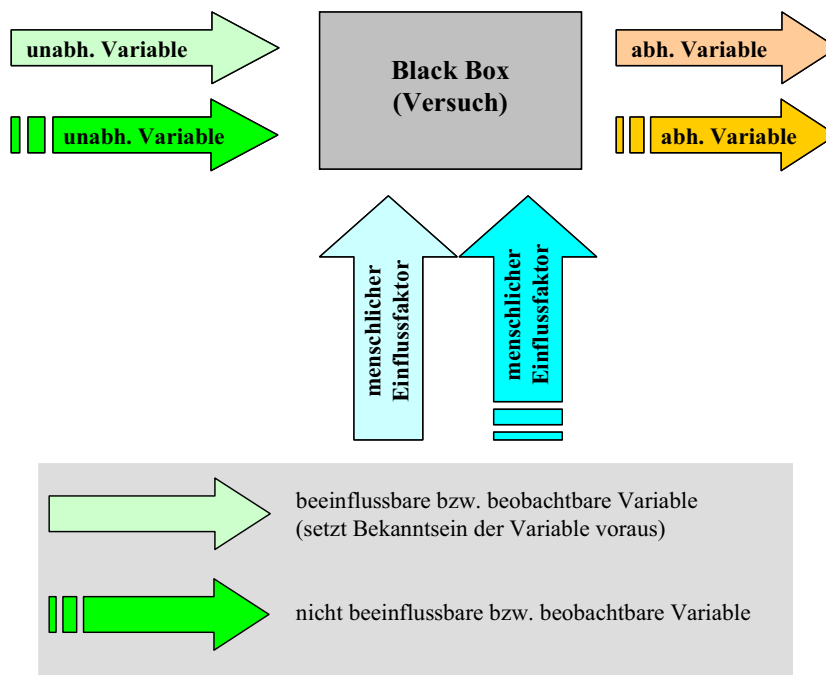


Abbildung 5-8: Einfluss der Probanden auf die Versuchsergebnisse [Quelle: Friedrichs, Methoden empirischer Sozialforschung, 1990, S. 79f]

### 5.1.2.1 Größe des Probandenkollektivs

In der Literatur wird für Fahrversuche im realen Straßenverkehr das grundsätzliche Dilemma zwischen einer möglichst großen Stichprobe für die statistische Absicherung auf der einen Seite und Zeitaufwand bzw. Kosten der Versuche sowie deren Auswertung auf der anderen Seite beschrieben. Gemäß der Aussage von Bubb<sup>70</sup> ist zum Vergleich unterschiedlicher technischer Auslegungsvarianten eine Probandenanzahl von 30 notwendig. In dieser Versuchsreihe haben 30 Probanden teilgenommen.

### 5.1.2.2 Demographische Daten

Um die Einflussfaktoren<sup>71</sup> auf die Versuchsparameter so gering wie möglich zu halten, wurde für die Teilnahme an der Untersuchung auf ein ausschließlich männliches Kollektiv zurückgegriffen. Das Alter der Probanden variierte in dem Bereich von 40 bis 71 Jahren mit einem Altersdurchschnitt von 54 Jahren.

<sup>70</sup> Bubb: Probandenanzahl für Fahrversuche, 2003, S. 33ff

<sup>71</sup> Bubb: Probandenanzahl für Fahrversuche, 2003, S. 27



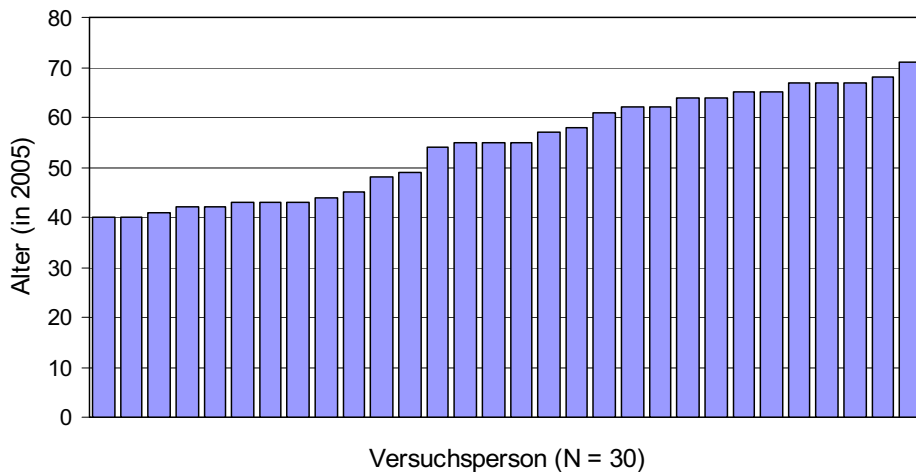


Abbildung 5-9: Verteilung des Alters der Probanden ( $\bar{x}$  54 Jahre)

### 5.1.2.3 Fahrerfahrung

Es wurde ein Probandenkollektiv mit vergleichbarer Fahrerfahrung ausgewählt, welches zumindest ACC-Erfahrung durch die vom Institut für Arbeitswissenschaft durchgeführten Probandenversuche<sup>72</sup> mit dem Versuchsfahrzeug hatte. ACC-Systeme werden hauptsächlich von ehemaligen Tempomat-Benutzern gekauft<sup>73</sup>. Für diese Untersuchung wurden aus diesem Grund drei Viertel der Probanden mit Tempomat-Erfahrung ausgewählt, so dass das Probandenkollektiv möglichst gut der Kundengruppencharakteristik entspricht.

Von den dreißig Probanden sind zwanzig Personen seit über zwanzig Jahren im Besitz einer gültigen Fahrerlaubnis, die restlichen zehn Personen seit über mindestens 14 Jahren und alle verfügen über mindestens 300.000 km Gesamtfahrleistung, so dass Erfahrung mit dem Umgang eines Fahrzeugs im öffentlichen Straßenverkehr vorausgesetzt werden konnte.

<sup>72</sup> Didier: Verfahren zur Messung des Komforts bei Abstandsregelsystemen, 2006, S. 39ff

<sup>73</sup> Didier: Verfahren zur Messung des Komforts bei Abstandsregelsystemen, 2006, S. 40

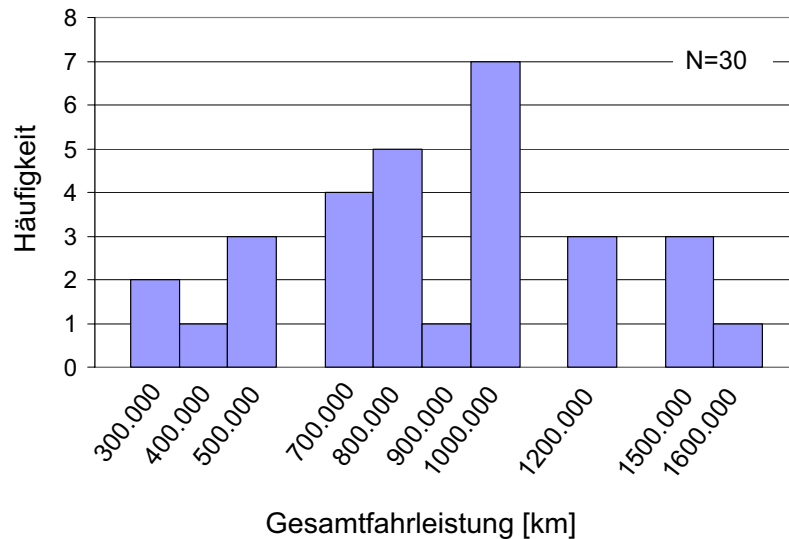


Abbildung 5-10: Häufigkeitsverteilung der Gesamtkilometerleistung der Probanden

Alle Versuchsteilnehmer fahren jährlich mindestens 15.000-20.000 km, wobei 40 % aller Teilnehmer angeben, dass jährlich mehr als 25.000 km zurückgelegt werden. Der Median über alle Probanden liegt in der Kategorie „20.000-25.000 km“. Es wurde weiterhin darauf geachtet, dass kein Proband „Berufsfahrer“ ist, um den von Riedel<sup>74</sup> beschriebenen Effekt, dass die „Berufsfahrer“ deutlich kritischer sind als „normale Fahrer“, zu vermeiden.

### 5.1.3 Erhebungsmethodik

Die Erhebungsmethodik bzgl. der Probandenuntersuchung basiert im Wesentlichen auf der bei Didier<sup>75</sup> beschriebenen Vorgehensweise und wurde auf das Untersuchungsziel der Sichtbereichsuntersuchung angepasst. Neben den dort genannten Anforderungen wurden zur Bestimmung der zu erhebenden Daten sowie der Erhebungsmethoden die Erkenntnisse aus bereits durchgeführten vergleichbaren Untersuchungen berücksichtigt. Gemäß den Aussagen von Bortz<sup>76</sup> sind die drei teststatistischen Hauptgütekriterien Objektivität<sup>77</sup>, Reliabilität<sup>78</sup> und Validität<sup>79</sup> als Voraussetzung für eine korrekte Datenerhebung zu beachten.

#### 5.1.3.1 Auswahl der zu erhebenden Daten

Aufgrund der Erkenntnisse durch die Recherche über den Sichtbereich von ACC-Systemen (Kapitel 4) und bereits durchgeführter Untersuchungen auf ähnlichem Gebiet bzw. theoreti-

<sup>74</sup> Riedel: Beurteilung des Handling von Pkw, 2000, S. 27f

<sup>75</sup> Didier: Verfahren zur Messung des Komforts bei Abstandsregelsystemen, 2006, S. 42ff

<sup>76</sup> Bortz: Statistik Bortz, 2005, S. 56ff

<sup>77</sup> Die Messungen haben unabhängig von Einflüssen der messenden Person zu erfolgen.

<sup>78</sup> Die Messungen sind unter gleich bleibenden Bedingungen reproduzierbar durchzuführen.

<sup>79</sup> Die Messungen haben die Merkmale ohne Einfluss von Störgrößen zu erfassen.

schen Überlegungen bzgl. der Sichtbereichs- als auch Fahrschlauchuntersuchung wurde ein Konzept erarbeitet, welches auf Einfluss- und Messgrößen der Versuchsreihe basiert.

Betreffend der Einflussfaktoren bzw. -größen erfolgte eine Differenzierung zwischen konstanten und variierenden Anteilen. Es wurden sowohl die durch den Probanden dokumentierten persönlichen Angaben als auch Daten zur Fahrumgebung und Fahrtätigkeit berücksichtigt.

Bezüglich der zu erhebenden Messfaktoren bzw. -größen zur Untersuchung des Sichtbereichseinflusses erfolgte eine Einteilung in subjektive Daten, die der persönlichen Einschätzung der Probanden entsprechen und in objektive Daten, die das Fahrverhalten der Probanden widerspiegeln. Detaillierte Tabellen zu den Einfluss- und Messgrößen sind im Anhang 10.3 zu finden.

### 5.1.3.2 Fragebogen

Für die Untersuchung einer Problemstellung anhand von Probandenaussagen wird in der Literatur häufig die Methodik des direkten Vergleichs genannt. Für diese Fälle erfolgt die Gestaltung des Fragebogens derart, dass die Antwortmöglichkeiten einen direkten Vergleich der untersuchten Objekte erlauben. In der Veröffentlichung von Levis et. al.<sup>80</sup> wurden unterschiedliche Arten von Rating-Skalen sowie die Technik des Paarvergleichs analysiert. Als Ergebnis wurde dokumentiert, dass die Technik des Paarvergleichs die stabilsten und zuverlässigsten Ergebnisse liefert und die Verwendung dieser Verfahren von den Autoren empfohlen wird.

Zur Erfassung des Subjektivempfindens innerhalb dieser Probandenuntersuchung wurde aus diesem Grund die Erhebungsmethodik durch Fragebogen<sup>81</sup>, gezielt auf die relevanten Untersuchungsschwerpunkte abgestimmt, angewendet. Das Ziel war die Entwicklung eines Fragebogens zur Klärung der Frage mit Probanden, welchen Einfluss der untersuchte Sichtbereich auf ausgesuchte Situationen des Systemverhaltens hat. Die Struktur des Fragebogens ist Tabelle 5-1 zu entnehmen.

---

<sup>80</sup> Levis et. al.: Quantification of subjective judgements, 1980, S. 87ff

<sup>81</sup> Friedrichs: Methoden empirischer Sozialforschung, 1990, S. 23ff

Tabelle 5-1: Gliederung Fragebogen

Vor der ersten Fahrt (Fragebogen I)
1. Kurzbedienungsanleitung ACC-System und Vorwort
2. Allgemeiner Teil (36 Fragen zu: Persönliche Angaben, Einstellung zu ACC)
Nach den Fahrten (Fragebogen II und III)
3. Einzelbewertung (20 Fragen zu: Systemreaktion, Vergleich ACC-System mit eigenem Fahrstil)
4. Vergleichsbewertung (28 Fragen zu: Folgefahrt, Einschersituationen, Beschleunigungs- und Bremsverhalten, Komfort und Entlastung, Sicherheit und Systemzuverlässigkeit)

In dieser Versuchsreihe wurde eine Likert fünfstufige Bi-Polar-Antwortskala<sup>82</sup> verwendet, bei der die Probanden zwischen vier Abstufungen wählen konnten.

Zur Verdeutlichung ist in Abbildung 5-11 ein Fragebogenausschnitt angegeben.

Wie haben Sie die <b>Anzahl der Zielverluste in Kurven</b> empfunden?	
C 4	Variante A            häufig    O    O    O    O    O    selten
	Variante B            häufig    O    O    O    O    O    selten

Abbildung 5-11: Auszug aus dem Fragebogen: Frage zur Erfassung der Anzahl der Zielverluste in Kurven

Am Ende der Vergleichsbewertung konnten die Probanden zusätzlich zu den vorformulierten Fragen eigene Kommentare und Anregungen dokumentieren.

### 5.1.3.3 Fahrtprotokoll

Zur Erhebung von Daten, die potentiellen Einfluss auf den Versuch haben könnten, wurden einzelne Ereignisse, wie beispielsweise besondere Verkehrsverhältnisse bzw. -situationen, aufgetretene Nebenspürstörungen oder ein Warnton des ACC-Systems mit der zugehörigen Uhrzeit in dem Fahrtprotokoll dokumentiert. Außerdem wurden persönliche Kommentare der

<sup>82</sup> Didier: Verfahren zur Messung des Komforts bei Abstandsregelsystemen, 2006, S. 49

Probanden während der Versuchsfahrt, die Ihre Reaktion auf gerade erlebte ACC-Systemeigenschaften wiedergaben, im Fahrtprotokoll vermerkt.

#### 5.1.3.4 Kamera zur Erfassung des vorderen Fahrzeugumfelds

Zur Erfassung des vorderen Fahrzeugumfelds zur Fahrsituationsklassifizierung während der gesamten Versuchsfahrt wurde eine Videokamera hinter der Windschutzscheibe oberhalb des Rückspiegels integriert (Abbildung 5-12).



Abbildung 5-12: Darstellung des vorderen Fahrzeugumfelds durch die Videokamera

Zusätzlich erfolgte eine Überlagerung der vom Radarsensor detektierten Objekte mit der Bildinformation.

#### 5.1.3.5 Fahrzeugtechnische Erhebungsmethode

Um das Fahrverhalten während einer Versuchsreihe zu erfassen, sind laut Abendroth<sup>83</sup> Messgrößen geeignet, die den fahrzeugtechnischen Zustand erfassen. Die in der Tabelle zu den erhobenen Messgrößen beschriebenen Daten (Anhang 10.3) werden in der vorliegenden Versuchsreihe von den Sensoren über den Fahrzeug-CAN-Bus übertragen und für die Auswertung gesichert.

---

<sup>83</sup> Abendroth: Gestaltungspotenzial Pkw-Abstandsregelsystem, 2001, S. 99f

## 5.1.4 Messtechnik und Versuchsfahrzeug

### 5.1.4.1 Umsetzung Sichtbereichsmodell

Zur Untersuchung der verschiedenen Sichtbereiche, die sich zum Erkenntnisstand der Recherche (Kapitel 4) sowohl durch den horizontalen Erfassungsbereich als auch die longitudinale Reichweite unterscheiden können, wurde ein Modell entwickelt, mit dem ein Nahbereich und ein Fernbereich simuliert werden kann (Abbildung 5-13).

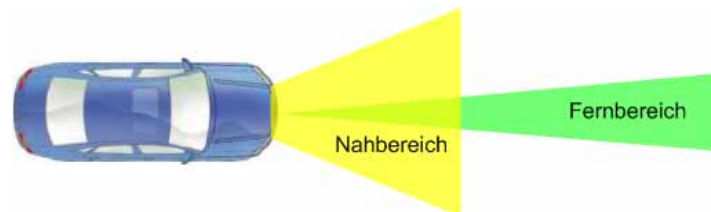


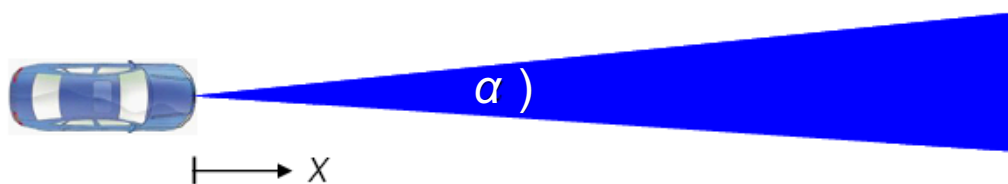
Abbildung 5-13: Modelldarstellung der Möglichkeiten der Sichtbereichsbegrenzung

Dort sind der Öffnungswinkel und der Längserfassungsabstand für den jeweiligen Bereich parametrierbar.

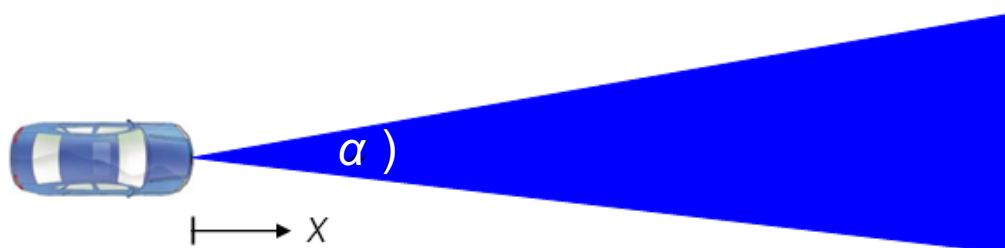
### 5.1.4.2 Implementierung der Sichtbereichsansätze

Für die praktische Umsetzung der Probandenuntersuchung stand ein Versuchsfahrzeug mit einem ACC2-Radarsensor, der einen horizontalen Gesamtöffnungswinkel von  $\pm 8^\circ$  erfasst, zur Verfügung, so dass die Implementierung des Sichtbereichsmodells im Fahrzeug mit diesem physikalischen Sensor erfolgte. Für das Untersuchungsziel dieser Arbeit wurden folgende beiden Sichtbereichsvarianten integriert:

1. Sichtbereichskontur ( $\alpha = \pm 4^\circ$ ,  $x = 200$  m)



2. Sichtbereichskontur ( $\alpha = \pm 8^\circ$ ,  $x = 200$  m)



### 5.1.4.3 Messtechnische Ausrüstung

Als grundsätzliche Anforderung wurde definiert, dass die eingesetzten Messmethoden keine Rückwirkungen auf die Probanden haben dürfen. Der zur Verfügung stehende Versuchsträger wurde mit der in Abbildung 5-14 beschriebenen Messtechnik ausgerüstet.

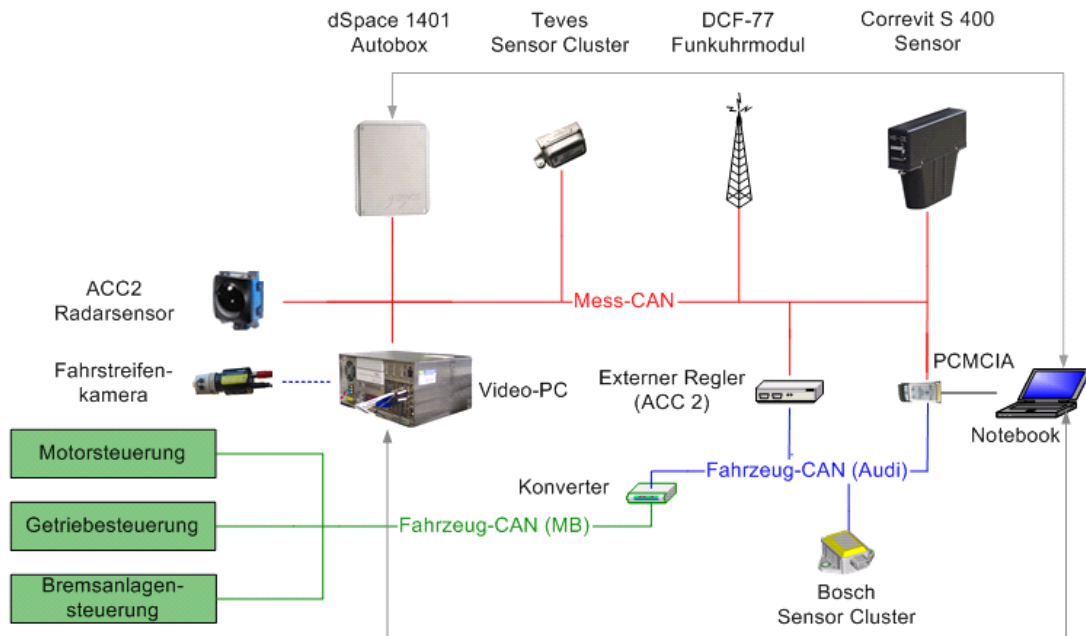


Abbildung 5-14: Gesamtübersicht Messtechnik inkl. Integration im Versuchsfahrzeug

Die Erfassung, Verarbeitung und Anzeige der erfassten Sensor-Daten erfolgt in Echtzeit mit dem Rechnersystem dSpace. Die Datenkommunikation der gesamten Messtechnik basiert auf dem CAN-Bus, d.h. alle relevanten Komponenten verfügen entweder direkt über eine entsprechende Schnittstelle oder die vorliegenden Signale werden durch das integrierte Echtzeitrechnersystem in eine CAN-Bus-Nachricht gewandelt.

Das Versuchsfahrzeug wurde zudem durch einen ACC2-Sensor und einen Gierratensensor für die Umsetzung der ACC2-Funktionalität ergänzt. Die notwendigen Komponenten zur Regelung wurden im Kofferraum integriert (Abbildung 5-15).



*Abbildung 5-15: Versuchsfahrzeug mit integrierter Messtechnik*

Für die Inbetriebnahme und den Test der ACC-Funktionalität mit dem Single-Sensor wurden statische und dynamische Tests durchgeführt. Innerhalb der statischen Tests wurde einerseits die Kohärenz der Informationssignale überprüft, andererseits die Anwesenheit der vorhandenen Objekte gemäß einer ausgearbeiteten Testanordnung in den Objektbotschaften kontrolliert. Die dynamischen Tests erfolgten bei Fahrten auf öffentlichen Straßen und hatten das Ziel, das System auf Sensorfehler (Nichterkenntung bzw. lückenhafte Erkennung von Objekten) und Regelungsfehler (Zielobjektauswahl, Brems- und Beschleunigungsverhalten) zu überprüfen.



## 5.2 Auswertungsmethodik

Die Auswertungsmethodik zur Versuchsreihe hinsichtlich Auswertungskonzept, Auswertungssoftware, Datenaufbereitung, Videoauswertung und statistischen Methoden richtet sich nach der in Abbildung 5-1 beschriebenen Vorgehensweise. Es wird bei der Auswertungsmethodik grundsätzlich zwischen den erfassten objektiven Messdaten und dem subjektiven Probandeneindruck unterschieden.

### 5.2.1 Auswertungssoftware

Zur elektronischen Datenverarbeitung wurden unterschiedliche Software-Pakete verwendet: Neben Microsoft Excel, CANgraph und Matlab stand ein bei FZD entwickeltes ACC-Auswertungsprogramm zur Verfügung. Mit diesem Auswertungsprogramm erfolgte die Situationsanalyse der Versuchsfahrten durch eine Überlagerung der einzelnen Radarobjektbotschaften mit dem durch die Kamera aufgezeichneten Bild der augenblicklichen Fahrscene. Mit Hilfe von integrierten vordefinierten statischen Plots bzw. einer dynamischen graphischen Darstellung der vom ACC-Sensor gemessenen Objekte aus der „Vogelperspektive“ wurden anschauliche Analysen zum Sichtbereich ermöglicht.

### 5.2.2 Datenaufbereitung

Bei den objektiven Messdaten in den vorliegenden unterschiedlichen Rohformaten erfolgte eine Konvertierung in ein einheitliches Datenformat zur Verwendung der eingesetzten Analysesoftware. Die vorliegenden Signale wurden auf dem CAN-Bus mit unterschiedlicher Frequenz aufgezeichnet und hatten daher unterschiedliche Vektorlängen. Eine weitere Konvertierung auf Matrizen gleicher Dimension wurde durchgeführt. Diese Anpassung erfolgte durch eine Interpolation auf die Länge des niedrigstfrequenten Signals (20 Hz), in diesem Fall die Fahrzeuggeschwindigkeit. Dabei wurde keine Mittelung der Werte vorgenommen, sondern nach Umrechnung des Zeitcodes der am nächsten gelegene Wert (mathematische Rundung) der höherfrequenten Variablen zugeordnet.

### 5.2.3 Videoauswertung

Für alle Versuchsfahrten wurde eine Analyse der Fahrsituationen aus dem vorliegenden Videobild unterteilt in die einzelnen vier Streckenabschnitte (Abbildung 5-2) durchgeführt. Dabei wurden für die relevanten Bereiche der „Folgefahrten“, „Annäherungsfahrten“, „Einschersituationen“, „Ausschersituationen“, „Kurvenfahrten“ und „Funktionsstörungen“ der jeweilige Beginn bzw. das Ende (Definition aus Kapitel 2) der Situationen aus dem Zeitstempel und die Objektnummer erfasst. Anschließend erfolgte die Zuordnung der CAN-Messdaten.

### 5.2.4 Statistische Methoden

Innerhalb dieser Arbeit wird das Ziel formuliert, das Verwerfen der für das jeweilige Untersuchungsziel formulierten Nullhypothese mit den vorliegenden statistischen Methoden zu erreichen<sup>84</sup>. Dies geschieht durch Bestimmung eines  $p$ -Wertes, der die Überschreitungswahrscheinlichkeit beschreibt, mit der sich unter der Nullhypothese die gefundenen oder noch extremere Ereignisse einstellen. Die Entscheidung, ob eine Hypothese abzulehnen ist, hängt vom Vergleich des  $p$ -Wertes mit dem zuvor festgelegten Signifikanzniveau  $\alpha$  ab, für das der in der Statistik verwendete Standardwert von 5 % gewählt wurde. Das Signifikanzniveau bezeichnet hierbei die Wahrscheinlichkeit mit der die Nullhypothese verworfen wird, obwohl diese wahr ist. Eine Hypothese ist abzulehnen, sobald der  $p$ -Wert unter dem Signifikanzniveau liegt. Die Ergebnisse werden je nach Größe des  $p$ -Wertes in „signifikant“ ( $p = 5\%$ ), „hochsignifikant“ ( $p = 1\%$ ) und „höchstsignifikant“ ( $p = 0,1\%$ ) eingeteilt<sup>85</sup>.

Die Auswertung der subjektiven Probandeneindrücke erfolgte mittels des Binomialtests für verbundene Stichproben<sup>86</sup>. Für die Analyse der objektiven Messdaten wurden verwendet:

- der Wilcoxon-Rangsummentest zur Überprüfung auf Gleichheit der Streuung eines betrachteten Merkmals zweier Stichproben,
- die Multiple Regressionsanalyse zur Bestimmung der Einflussparameter,
- der Chi-Quadrat-Test zur Untersuchung der Unabhängigkeit zweier Merkmale aufgrund ihrer Auftretshäufigkeit.

Eine nähere Beschreibung der deskriptiven statistischen Methoden und Signifikanztests findet sich in Anhang 10.4.

### 5.2.5 Validierung des Versuchskonzepts

Die formulierten Untersuchungsziele und Hypothesen sowie die zur Untersuchung benötigte Messtechnik wurden in einem Vorversuch überprüft, um mögliche Schwachpunkte bei der Hypothesenformulierung, der Streckenauswahl, des Versuchsablaufs, des Fragebogens und der Auswertungsmethodik der erfassten Daten zu identifizieren. Nach Friedrichs<sup>87</sup> wird gefordert, dass der Vorversuch in etwa einem Umfang von einem Prozent der Hauptuntersuchung entspricht und in etwa die Verhältnisse der Hauptuntersuchung widerspiegelt. Der durchgeführte Vorversuch umfasste fünf Probanden, die eine Gesamtstrecke von ca. 2.000 km bzw. ca. 25 Stunden gefahren sind.

---

<sup>84</sup> Bubb: Probandenanzahl für Fahrversuche, 2003, S. 30f

<sup>85</sup> Bubb: Probandenanzahl für Fahrversuche, 2003, S. 32

<sup>86</sup> Die Auswertungsmethodik des Fragebogens wird in Anhang 10.4.4 erläutert.

<sup>87</sup> Friedrichs: Methoden empirischer Sozialforschung, 1990, S. 73ff

Bei der Durchführung des Vorversuchs und der anschließenden Auswertung wurden angelehnt an Friedrichs folgende Fragen betrachtet:

- Legitimation der Untersuchung:  
Können das Forschungs- und Verwertungsziel den Probanden hinreichend verdeutlicht werden?
- Erhebungssituation:  
Ist der Ort für die Untersuchung richtig gewählt? Hierzu zählen nicht nur die Versuchsstrecke, sondern auch die Räumlichkeiten und das Umfeld, in denen die Fragebögen anschließend bearbeitet werden. Wie viel Zeit wird für die Durchführung notwendig sein? Welche verzerrenden Elemente oder störenden Einflüsse können auftreten?
- Rollen:  
Werden Versuchsbegleiter akzeptiert? Ist deren Rolle unauffällig genug, um keine ungewollten Verzerrungen bzw. eventuell Ergebnisse hervorzurufen, die es ohne ihre Anwesenheit nicht gegeben hätte?
- Instrument:  
Werden die gestellten Fragen von den Probanden verstanden? Verfügen die befragten Probanden überhaupt über genug Informationen um die Fragen beantworten zu können? Sind Antworten, die Probanden geben wollen, auch möglich, also in der Codierung des Fragebogens vorgesehen? Sind die Kategorien eindeutig genug, um hohe Gleichförmigkeit bei den bei der Erstellung beteiligten Personen und bei den Probanden zu erreichen (Reliabilität)?
- Stichprobe:  
Sind die Probanden erreichbar? Gibt es viele, die nicht an der Untersuchung teilnehmen wollen? Welche Gründe haben Sie?
- Kontrollen:  
Welche Möglichkeiten zur Kontrolle der Reliabilität und Validität bestehen? Zum Beispiel durch Befragung von Probanden nach der Untersuchung.

Ausgehend von der ursprünglichen Formulierung der Hypothesen wurden diese unter Einbeziehung der Motivation, dem Erkenntniswert und der Methodik zum Widerlegen der nach Popper<sup>88</sup> formulierten Hypothesen in einem mehrfach durchlaufenden Prozess bis zum Erreichen der im Anhang 10.2 aufgeführten endgültigen Form konkretisiert. Die Methode des Widerlegens einer Hypothese ist nach Popper zur Verwerfung der Nullhypothese mit statistischen Methoden vereinbar.

---

<sup>88</sup> Popper: Logik der Forschung, 2005, S. 7ff

Ein Ergebnis des Vorversuchs hinsichtlich der Situationserfassung war die Erstellung eines zusätzlichen Fahrprotokolls, welches der Versuchsbegleiter während der Fahrt zur Erfassung von Subjektivaussagen durch den Probanden und Auffälligkeiten im ACC-Systemverhalten (beispielsweise Auftreten einer Nebenspurstörung) verwendet hatte.

Bei der Überprüfung des Probandenfragebogens hinsichtlich Eindeutigkeit und Verständlichkeit wurden durch die Erkenntnisse des Vorversuchs einzelne Fragen überarbeitet, beispielsweise durch die Umwandlung von gemischten Ja/Nein-Tendenzfragen in reine Tendenzfragen.

Zur Sicherstellung einer reproduzierbaren Versuchsdurchführung, zur Vermeidung von Messdatenverlusten und zur Minimierung des zusätzlichen Einflussfaktors „Versuchsbetreuer“ wurde die Versuchsvorbereitung anhand einer Checkliste<sup>89</sup> durchgeführt.

---

<sup>89</sup> Diese beinhaltet unter anderem die chronologische Reihenfolge des gesamten Versuchsablaufes, eine Anleitung zur Herstellung der notwendigen Hardwareanschlüsse, der Verwendung und Bedienung der benötigten Software und der Überprüfung der Betriebszustände von Versuchsfahrzeug und Messtechnik.

## 6 Auswertung und Diskussion der Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Probandenversuchsreihe zur Sichtbereichsuntersuchung bzw. der separat durchgeführten Fahrschlauchuntersuchung vorgestellt. Die dem Untersuchungsziel zugrunde liegenden Hypothesen sind im Anhang 10.2 aufgeführt und werden auszugsweise bei der Darstellung der Versuchsergebnisse benannt.

Die Ergebnisdarstellung der Probandenuntersuchung gliedert sich wie folgt: Zu Beginn wird eine Beschreibung des Probandenkollektivs gegeben. Es folgt die Analyse des subjektiven Probandeneindrucks für die Kategorien Folge-/ Annäherungsfahrt, Einschersituationen bzw. Beschleunigungs- und Bremsverhalten. Im Anschluss daran werden die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungsschwerpunkte bezogen auf die messtechnische Analyse der Kurven-/ Annäherungs- und Einschersituationen aufgeführt. Dort werden ausgehend von den objektiven Messdaten die Sichtbereichsvarianten auf signifikante Unterschiede untersucht. Abschließend wird ein Vergleich der subjektiv und objektiv erfassten Ergebnisse durchgeführt.

Für die Verständlichkeit der folgenden Ergebnisse wird auf die Definition der Begriffe „Erfassung“, „Erkennung“ und „Folgefahrt“ gemäß Kapitel 2 verwiesen.

### 6.1 Beschreibung des Probandenkollektivs

Als Basisdaten für die Beschreibung des Probandenkollektivs vor Beginn der Versuchsreihe dient Fragebogen I (Tabelle 5-1). Es werden sowohl Angaben zum persönlichen Fahrverhalten als auch zu den bisherigen Nutzungsgewohnheiten und Erfahrungen mit ACC-Systemen erfasst.

Bei der Frage, Autofahren als angenehm oder unangenehm zu bewerten, geben 84 % des Probandenkollektivs auf einer Skala von 1 = „unangenehm“ bis 5 = „angenehm“ eine 4 oder 5 an.

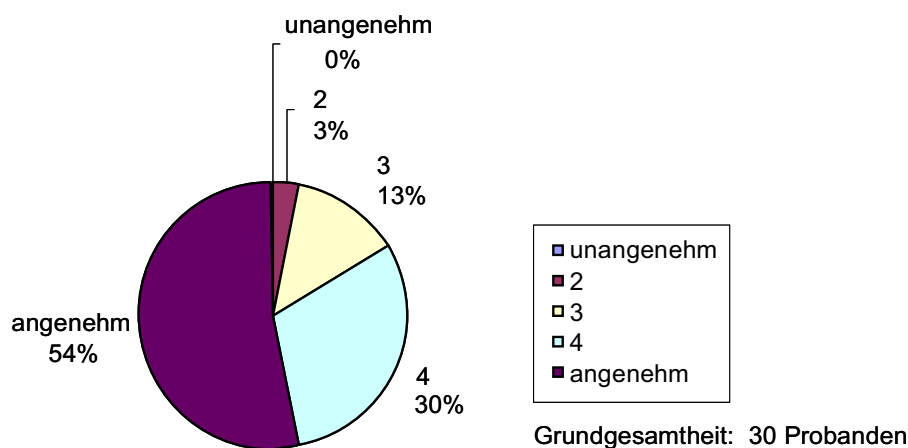


Abbildung 6-1: Antworten zur Frage „Wie wird Autofahren empfunden?“

Lediglich ein Proband bewertet das Empfinden bei dem Autofahren mit einer 2. Eine prozentuale Aufteilung der abgegebenen Beurteilungen ist Abbildung 6-1 zu entnehmen.

Eine weitere Frage bezieht sich auf die Einschätzung des persönlichen Fahrstils. In der Literatur wird berichtet, dass Autofahrer durchaus in der Lage sind, ihren eigenen Fahrstil zuverlässig einzustufen. So konnten Marstaller<sup>90</sup> et. al. signifikante Korrelationen zwischen subjektiven und objektiven Erhebungsmethoden aufzeigen. In der vorliegenden Arbeit beurteilen 57 % der Probanden ihren Fahrstil als „zügig“, 34 % als eher „komfortbetont“ und nur 9 % sagen, dass sie „defensiv“ fahren. Um eventuelle Zusammenhänge zwischen Fahrerklassen und erfassten Bewertungen erkennen zu können, wird für ausgewählte Untersuchungsziele der Fragebogenantworten das Probandenkollektiv in zwei Klassen aufgeteilt. Für die Klassenbildung werden die Fahrer mit defensivem Fahrstil zu der Klasse des komfortbetonten Fahrstils zusammengefasst. Als zweite Gruppe wird die Klasse der „zügigen Fahrer“ bezeichnet.

Die Gewohnheiten der Probanden bezüglich der bisherigen Nutzung von ACC werden differenziert zwischen drei Streckenarten „Autobahn“, „Landstraße“ und „Innenstadtbereich“ (Abbildung 6-2). Die Bewertungsskala der Nutzung reicht von „nie“ bis „wann immer möglich“.

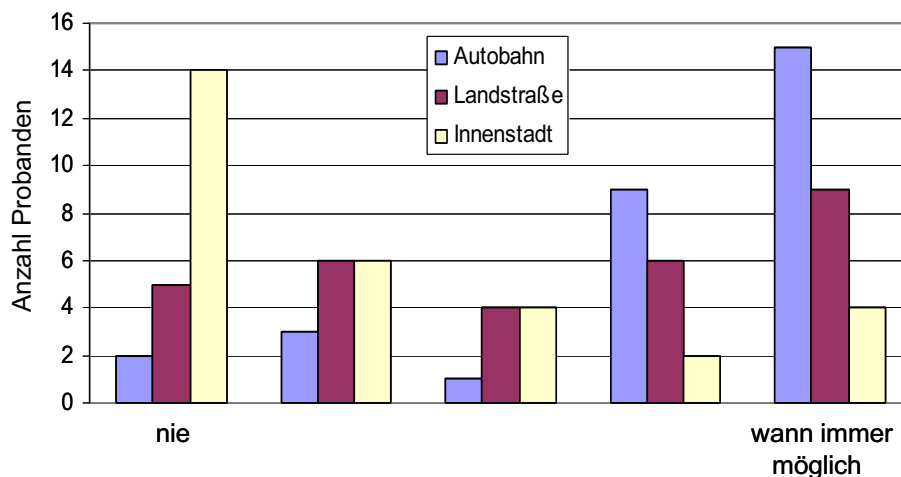


Abbildung 6-2: Bisherige Gewohnheiten bei der Nutzung von ACC-Systemen

Im Fragebogen werden sechs ausgewählte Situationen beschrieben, deren Störempfinden durch die Probanden vor der Versuchsreihe bewertet wurden. Die Ergebnisse sind in nachfolgender Abbildung dargestellt.

<sup>90</sup> Marstaller et. al.: Akzeptanzuntersuchungen einer Längsregelung im Kfz, 2001, S. 147ff

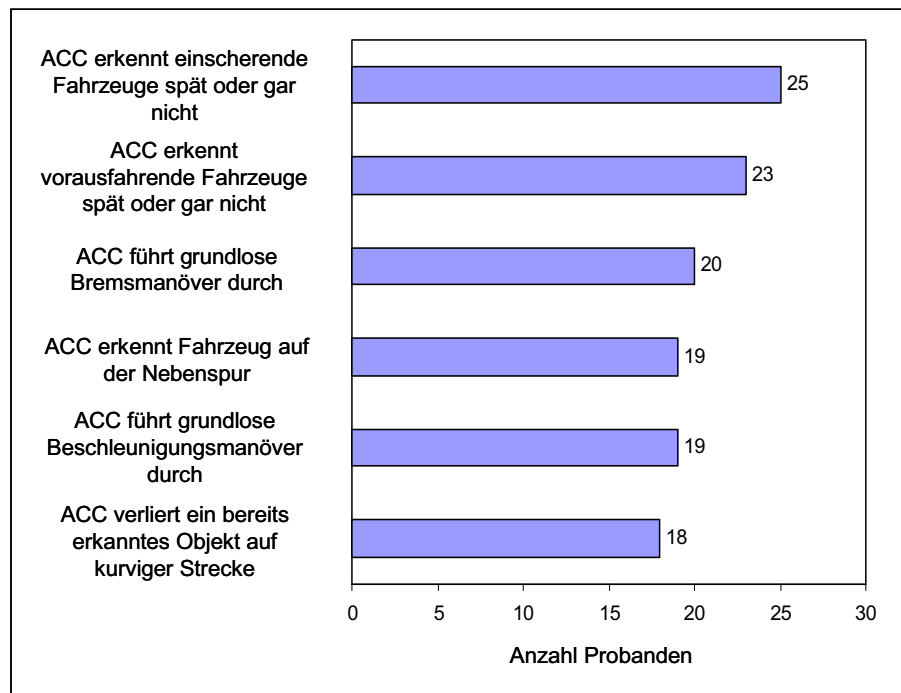


Abbildung 6-3: Von Probanden als störend empfundene Situationen (über Anzahl Probanden)

## 6.2 Subjektiveindruck der Probanden

Neben der Beschreibung der Probanden wurde eine Analyse des Subjektiveindrucks der Probanden bezogen auf die Fragestellungen der Kategorien *Folge-/ Annäherungsfahrt*, *Einscher-situationen* bzw. *Beschleunigungs- und Bremsverhalten* mit Hilfe eines Vergleichsfragebo-gens durchgeführt, der von den Probanden nach Abschluss der Testfahrten bearbeitet wurde. Zur Auswertung der Fragebögen wird der Binomialtest für verbundene Stichproben verwen-det (Anhang 10.4.4). Für die Interpretation der Ergebnisse ist folgendes zu beachten:

Die Teststatistik setzt sich aus den Null- und Negativdifferenzen zusammen. Das bedeutet das  $\pm 4^\circ$ -System wurde gleich oder besser bewertet als das  $\pm 8^\circ$ -System ( $D^0 =$  Anzahl der Null- und Negativdifferenzen). Aus der binomialverteilten Teststatistik lassen sich nun die zu tes-tende Nullhypothese ( $H_0$ ), die behauptet, es sei kein Unterschied der Eigenschaften vorhan-den, und die daraus resultierende Alternativhypothese ( $H_1$ ), die das Urteil einer Unterschei-dung enthält, ableiten. Unter der Annahme einer Binomialverteilung von  $B(n; p = 0,6)$  (An-hang 10.4.4) lautet die Nullhypothese der Probandenversuchsreihe wie folgt:

$H_0$ : Mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens 60 % wird die  $\pm 8^\circ$ -Version nicht besser bewertet als die  $\pm 4^\circ$ -Version ( $p_0 \geq 0,6$ ).

Um nun den Ablehnungsbereich der Nullhypothese zu bestimmen, wird die Binomialvertei-lung für  $B(30; p = 0,6)$  in Tabelle 10-10 aus Anhang 10.4.4 betrachtet. Anhand dieser ist er-kennbar, dass bis zu 13 Probanden das  $\pm 4^\circ$ -System verglichen mit dem  $\pm 8^\circ$ -System besser oder gleich bewerten können, um bei einem Signifikanzniveau von 5 % die Nullhypothese

dennoch signifikant verwerfen zu können ( $D^0 = \{0 < X \leq 13\}$ ). Das bedeutet, dass die  $\pm 8^\circ$ -Version signifikant besser bewertet wird als die  $\pm 4^\circ$ -Version.

Für die signifikante Verwerfung der Nullhypothese dürfen

- bei einer Stichprobenzahl von 30 Probanden (Grundgesamtheit der Versuchsreihe) höchstens 13 Probanden,
- bei einer Stichprobenzahl von 17 Probanden (Fahrerklasse der „zügigen Fahrer“) höchstens 6 Probanden und
- bei einer Stichprobenzahl von 13 Probanden (Fahrerklasse der „komfortorientierten Fahrer“) höchstens 4 Probanden

die  $\pm 4^\circ$ -Version verglichen mit der  $\pm 8^\circ$ -Version besser oder gleich bewerten (Vgl. Anzahl  $D^0$  in den folgenden Tabellen. Die Angabe der Differenzen „-“, „0“ und „+“ ist das Ergebnis des direkten Vergleichs der einzelnen Probandenantworten für die  $\pm 4^\circ$ -Version und  $\pm 8^\circ$ -Version.).

Falls die Nullhypothese nicht verworfen werden kann, so ist nur die Aussage zu treffen, dass sich die formulierte Hypothese für diese Versuchsreihe bewährt hat.

Aufgrund einer vermuteten Abhängigkeit der Fahrerklassen auf das Subjektivempfinden der Probanden<sup>91</sup> werden diese innerhalb ausgesuchter Teilbereiche der im Folgenden beschriebenen fünf Kategorien untersucht. Im Kapitel 6.6, dem Vergleich der objektiven Messgrößen und dem subjektiven Probandeneindruck, wird anstelle der beiden Fahrerklassen das Probandengesamtkollektiv betrachtet.

## 6.2.1 Folgefahrten in Kurven

### 6.2.1.1 Unterscheidung hinsichtlich der Anzahl der Zielverluste zwischen Geraden und Kurven

Die Fragen C4 und C5 beziehen sich auf die Anzahl der Zielverluste in Kurven und auf gerader Strecke.

		Wie haben Sie die <b>Anzahl der Zielverluste in Kurven</b> empfunden?						
C4	Variante A	häufig	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	selten
	Variante B	häufig	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	selten

<sup>91</sup> Abendroth: Gestaltungspotenzial Pkw-Abstandsregelsystem, 2001, S. 55



		Wie haben Sie die <b>Anzahl der Zielverluste auf gerader Strecke</b> empfunden?						
C5	Variante A	häufig	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	selten
	Variante B	häufig	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	selten

Die Nullhypothese lautet: *Die Probanden differenzieren bei der Beurteilung des Sichtbereichs nicht zwischen dem Sichtbereich auf einer Geraden oder in einer Kurve hinsichtlich der Anzahl der Zielverluste* (Anhang 10.2, Hypothese 1a). Die Beurteilungsskala reicht von „häufig“ bis „selten“.

Tabelle 6-1: Ergebnisse zur Frage C4 und C5,  $\pm 4^\circ$ -Variante (Unterschied Anzahl Zielverluste zwischen Kurve (C4) und Gerade (C5), Gesamtkollektiv)

$\pm 4^\circ$	Median	1 (häufig)	2	3	4	5 (selten)
C4	2	11	11	3	5	0
C5	4	0	1	7	12	10
Differenz	-	0	+	D <sup>0</sup>	p-Wert	H
C5 – C4°	0	5	25	5	0,000	1

Tabelle 6-2: Ergebnisse zur Frage C4 und C5,  $\pm 8^\circ$ -Variante (Unterschied Anzahl Zielverluste zwischen Kurve (C4) und Gerade (C5), Gesamtkollektiv)

$\pm 8^\circ$	Median	1 (häufig)	2	3	4	5 (selten)
C4	3,5	2	8	5	8	7
C5	4	0	0	6	12	12
Differenz	-	0	+	D <sup>0</sup>	p-Wert	H
C5 – C4°	3	9	18	12	0,021	1

Sowohl für die  $\pm 4^\circ$ - als auch für die  $\pm 8^\circ$ -Variante kann die Hypothese 1a mit  $p = 0,000$ <sup>92</sup> bzw.  $p = 0,021$  für das Gesamtkollektiv der Probanden signifikant widerlegt werden. Das bedeutet, dass die Probanden einen Unterschied zwischen der Anzahl der Zielverluste auf Geraden und Kurven feststellen können. Dieser empfundene Unterschied ist bei der  $\pm 4^\circ$ -Variante im Vergleich zur  $\pm 8^\circ$ -Variante deutlicher, d.h. die Probanden haben eine höhere Anzahl von Zielverlusten bei Kurven im Vergleich zu den geraden Streckenanteilen wahrgenommen.

Die Unterscheidungsfähigkeit der Probanden ist wiederum Grundlage für eine detaillierte Befragung in Bezug auf die Folgefahrten.

<sup>92</sup> Der p-Wert war numerisch nicht mehr von Null verschieden.

### 6.2.1.2 Dauer der Erkennung von vorausfahrenden Fahrzeugen auf dem eigenen Fahrstreifen in Kurven

Die Frage C3 bezieht sich auf die zeitliche Dauer der Erkennung von vorausfahrenden Fahrzeugen auf dem eigenen Fahrstreifen in Kurven.

C3	<b>Wie lange wurden vor Ihnen fahrende Fahrzeuge auf dem eigenen Fahrstreifen in Kurven auf der kurvenreichen Landstraße erkannt?</b>							
	Variante A	am Kurvenanfang	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	während der gesamten Kurvenfahrt
	Variante B	am Kurvenanfang	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	während der gesamten Kurvenfahrt

Die Nullhypothese lautet: *Durch den von  $\pm 4^\circ$  auf  $\pm 8^\circ$  erweiterten horizontalen Sichtbereich werden Fahrzeuge in Kurven für den Probanden nicht länger von der ACC-Regelung als relevantes Zielfahrzeug eingestuft* (Anhang 10.2, Hypothese 2b). Die Beurteilungsskala reicht von „am Kurvenanfang“ bis „während gesamter Kurvenfahrt“.

Die Probanden sind der Meinung, dass die  $\pm 8^\circ$ -Version das Zielfahrzeug in Kurven hochsignifikant länger erkennt als die  $\pm 4^\circ$ -Version. Somit kann die Hypothese 2b hochsignifikant verworfen werden.

Tabelle 6-3: Ergebnisse zur Frage C3 (Dauer der Erkennung in Kurven, Gesamtkollektiv)

C3	Median	1 (am Kurvenanfang)	2	3	4	5 (während ges. Kurvenfahrt)
$\pm 4^\circ$	2	3	18	8	1	0
$\pm 8^\circ$	4	4	6	2	14	4
Differenz	-	0	+	D <sup>0-</sup>	p-Wert	H
$\pm 8^\circ - \pm 4^\circ$	3	7	20	10	0,003	1

### 6.2.1.3 Wiedererkennung von Fahrzeugen nach einem Zielverlust in Kurven

Das Empfinden der Probanden, ob das System auf kurvenreichen Landstraßen zu spät oder rechtzeitig ein vorausfahrendes ursprüngliches Zielfahrzeug nach einem Zielverlust wieder als ein solches erkennt, wird in Frage C6 abgefragt.

C 6	<b>Wie wurden vor Ihnen fahrende Fahrzeuge nach einem Zielverlust auf dem eigenen Fahrstreifen in Kurven auf der kurvenarmen Landstraße wieder erkannt?</b>						
	Variante A	spät	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	rechtzeitig
	Variante B	spät	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	rechtzeitig

Die Nullhypothese lautet: *Durch den von  $\pm 4^\circ$  auf  $\pm 8^\circ$  erweiterten horizontalen Sichtbereich werden Fahrzeuge in Kurven für den Probanden nicht früher nach einem Zielverlust wieder*

erkannt (Anhang 10.2, Hypothese 2c). Die Beurteilungsskala reicht von „spät“ bis „rechtzeitig“.

### 6.2.1.3.1 Gesamtkollektiv

Die Hypothese, dass Fahrzeuge in Kurven nach einem Zielverlust nicht früher wieder erkannt werden, kann aufgrund der großen Anzahl der Nulldifferenzen nicht signifikant widerlegt werden, auch wenn ein Trend zur besseren Bewertung der  $\pm 8^\circ$ -Version erkennbar ist.

Tabelle 6-4: Ergebnisse zur Frage C6 (Wiedererkennung nach Zielverlust, Gesamtkollektiv)

C6	Median	1 (spät)	2	3	4	5 (rechtzeitig)
$\pm 4^\circ$	2,5	6	9	8	6	1
$\pm 8^\circ$	4	2	5	5	13	5
Differenz	-	0	+	D <sup>0-</sup>	p- Wert	H
$\pm 8^\circ - \pm 4^\circ$	2	12	16	14	0,097	0

### 6.2.1.3.2 Zügige Fahrer

Die Beurteilung der Gruppe der „zügigen Fahrer“ ist Tabelle 6-5 zu entnehmen.

Tabelle 6-5: Ergebnisse zur Frage C6 (Wiedererkennung nach Zielverlust, zügige Fahrer)

C6 zügig	1 (spät)	2	3	4	5 (rechtzeitig)	
$\pm 4^\circ$	3	6	7	1	0	
$\pm 8^\circ$	1	2	3	8	3	
Differenz	-	0	+	D <sup>0-</sup>	p- Wert	H
$\pm 8^\circ - \pm 4^\circ$	2	2	13	4	0,003	1

Die Anzahl der Null- und Negativdifferenzen zeigt, dass die Probanden die Wiedererkennung eines vorausfahrenden Fahrzeugs während der Fahrt auf einer kurvenreichen Landstraße bei der  $\pm 4^\circ$ -Version als zu spät empfinden. Die Hypothese wird verworfen, so dass eine Erweiterung des horizontalen Sichtbereichs von  $\pm 4^\circ$  auf  $\pm 8^\circ$  hochsignifikant zu einer Verbesserung der Wiedererkennung aus Sicht der Probanden führt.

### 6.2.1.3.3 „Komfortbetonte Fahrer“

Anders als bei „zügigen Fahrern“ ist bei „komfortbetonten Fahrern“ nicht einmal ein eindeutiger Trend zu beobachten (Tabelle 6-6).

Tabelle 6-6: Ergebnisse zur Frage C6 (Wiedererkennung nach Zielverlust, komfortorientierte Fahrer)

C6 Komfort	1 (spät)		2	3	4	5 (rechtzeitig)
± 4°	3		3	1	5	1
± 8°	1		3	2	5	2
Differenz	-	0	+	D <sup>0</sup>	p- Wert	H
± 8° - ± 4°	0	10	3	10	0,552	0

Werden die Ergebnisse der drei Kategorien „Gesamtkollektiv“, „zügige“ und „komfortbetonte Fahrer“ betrachtet, wird die Aussage abgeleitet, dass die „zügigen Fahrer“ eine späte Wiedererkennung des Zielfahrzeugs nach einem Zielverlust bei der ±4°-Version bemerken.

#### 6.2.1.4 Anzahl der Zielverluste in Kurven

Die Frage C4 bezieht sich auf die Anzahl der Zielverluste in Kurven.

Wie haben Sie die Anzahl der Zielverluste in Kurven empfunden?	
C 4	häufig O O O O O selten
	häufig O O O O O selten

Die Nullhypothese lautet: *Durch den von ±4° auf ±8° erweiterten horizontalen Sichtbereich gibt es in Kurven für den Probanden nicht weniger Zielverluste* (Anhang 10.2, Hypothese 3a). Die Beurteilungsskala reicht von „häufig“ bis „selten“.

Die Hypothese 3a konnte mit insgesamt 13 Null- und Negativdifferenzen signifikant widerlegt werden, das heißt die Probanden sehen innerhalb der Versuchsreihe einen signifikanten Unterschied in der Anzahl der Zielverluste in Kurven. Dieses Ergebnis spiegelt die Eindrücke wider, die die Probanden während und nach den Fahrten schilderten, bei denen die ±8°-Version meist besser bewertet wurde.

Tabelle 6-7: Ergebnisse zur Frage C4 (Anzahl der Zielverluste in Kurven, Gesamtkollektiv)

C4	Median	1 (häufig)	2	3	4	5 (selten)
± 4°	2	11	11	3	5	0
± 8°	3.5	2	8	5	8	7
Differenz	-	0	+	D <sup>0</sup>	p- Wert	H
± 8° - ± 4°	3	10	17	13	0,048	1

#### 6.2.1.5 Verbesserungen aus Sicht der Probanden bei Kurven

Die Frage B13-5 bezieht sich auf die Verbesserung bei der Erkennung von Zielfahrzeugen in Kurven und wurde den Probanden direkt nach jeder gefahrenen Sichtbereichsvariante gestellt.

B13-5	Inwiefern wünschen Sie sich in dem folgenden Bereich eine <b>Verbesserung des ACC-Systems?</b>					
	Bei der Erkennung von Zielfahrzeugen in Kurven	keine	O	O	O	O

Die Analyse hat ergeben, dass es einen signifikanten Unterschied bei dem geäußerten Verbesserungswunsch des ACC-Verhaltens aus Sicht der Probanden für die Erkennung von Zielfahrzeugen in Kurven zugunsten der  $\pm 8^\circ$ -Version gibt.

Table 6-8: Ergebnisse zur Frage B13-5 (Verbesserung bei der Erkennung von Zielfahrzeugen in Kurven, Gesamtkollektiv)

B13-5	Median	1 (keine)	2	3	4	5 (sehr starke)
$\pm 4^\circ$	4,5	0	2	3	10	15
$\pm 8^\circ$	3	3	8	5	6	8
Differenz	-	0	+	D <sup>0</sup>	p-Wert	H
$\pm 8^\circ - \pm 4^\circ$	3	10	17	13	0,048	1

Aus der nachfolgenden Abbildung wird entnommen, dass es trotz des festgestellten signifikanten Unterschieds aus Sicht der Probanden für die  $\pm 8^\circ$ -Version weiterhin Verbesserungspotential bei der Erkennung von Zielfahrzeugen in Kurven gibt.

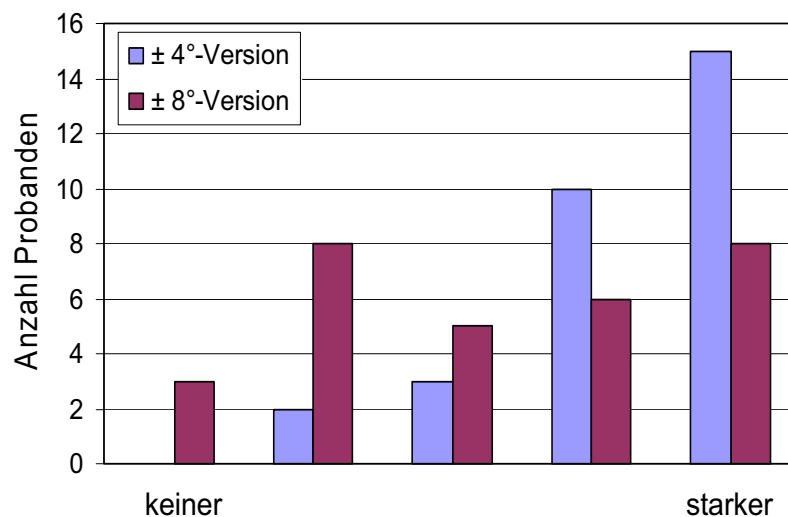


Abbildung 6-4: Verbesserungswunsch des ACC-Systemverhaltens aus Probandensicht für die Erkennung von Zielfahrzeugen in Kurven

Das Empfinden der Probanden bezogen auf die Verbesserung bei der Nutzbarkeit des ACC-Systems auf Strecken mit kleinen Kurvenradien wurde in Frage B13-11 behandelt.

B13-11	Inwiefern wünschen Sie sich in dem folgenden Bereich eine <b>Verbesserung des ACC-Systems?</b>
	Nutzbarkeit auf Strecken mit kleineren Kurvenradien (z.B. Landstraßen) keine <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> sehr starke

Die Anzahl der Null- und Negativdifferenzen zeigt, dass der von den Probanden geäußerte Verbesserungswunsch hinsichtlich der Nutzbarkeit des ACC-Systems auf Strecken mit kleineren Kurvenradien signifikant unterschiedlich zugunsten der  $\pm 8^\circ$ -Version ist.

Table 6-9: Ergebnisse zur Frage B13-11 (Verbesserung bei der Nutzbarkeit auf Strecken mit kleineren Kurvenradien, Gesamtkollektiv)

B13-11	Median	1 (keine)	2	3	4	5 (sehr starke)
$\pm 4^\circ$	4	0	4	3	13	10
$\pm 8^\circ$	3	1	10	7	6	6
Differenz	-	0	+	D <sup>0</sup>	p-Wert	H
$\pm 8^\circ - \pm 4^\circ$	6	6	18	12	0,021	1

Trotz des festgestellten signifikanten Unterschieds aus Sicht der Probanden wird der nachfolgenden Abbildung entnommen, dass es für die  $\pm 8^\circ$ -Version noch Verbesserungspotential bei der Erkennung von Zielfahrzeugen in Kurven gibt.

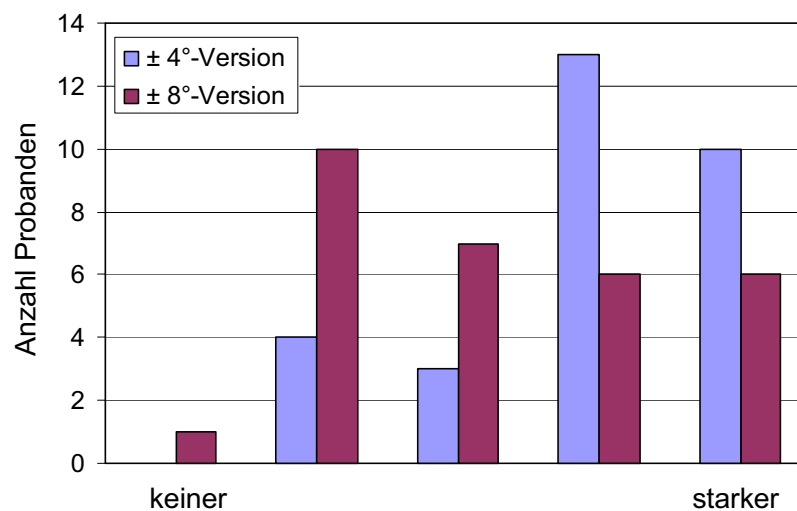


Abbildung 6-5: Verbesserungswunsch des ACC-Systemverhaltens aus Probandensicht für Strecken mit kleinen Kurvenradien

## 6.2.2 Annäherungsfahrten

### 6.2.2.1 Unterscheidung hinsichtlich der Erkennung von vorausfahrenden Fahrzeugen auf dem eigenen Fahrstreifen zwischen Geraden und Kurven

Die Fragen C1 und C2 beziehen sich auf den Erkennungszeitpunkt von vorausfahrenden Fahrzeugen auf dem eigenen Fahrstreifen in Kurven und auf gerader Strecke.

C1	<b>Wie wurden vor Ihnen fahrende Fahrzeuge auf dem eigenen Fahrstreifen in Kurven erkannt?</b>							
	Variante A	spät	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	rechtzeitig
	Variante B	spät	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	rechtzeitig
C2	<b>Wie wurden vor Ihnen fahrende Fahrzeuge auf dem eigenen geraden Fahrstreifen erkannt?</b>							
	Variante A	spät	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	rechtzeitig
	Variante B	spät	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	rechtzeitig

Die Nullhypothese lautet: *Die Probanden differenzieren bei der Beurteilung des Sichtbereichs nicht zwischen dem Sichtbereich auf einer Geraden oder in einer Kurve hinsichtlich dem Erkennungszeitpunkt* (Anhang 10.2, Hypothese 1b). Die Beurteilungsskala reicht von „spät“ bis „rechtzeitig“.

Tabelle 6-10: Ergebnisse zur Frage C1 und C2,  $\pm 4^\circ$ -Variante (Unterschied Erkennung zwischen Kurve (C1) und Gerade (C2), Gesamtkollektiv)

$\pm 4^\circ$	Median	1 (spät)	2	3	4	5 (rechtzeitig)
C1	2	5	14	8	3	0
C2	4	0	4	7	12	7
Differenz	-	0	+	D <sup>0-</sup>	p-Wert	H
C2 – C1 <sup>o</sup>	2	4	24	6	0,000	1

Die Hypothese 1b kann höchstsignifikant mit  $p = 0,000$  für die  $\pm 4^\circ$ -Version widerlegt werden. Das bedeutet, dass die Probanden einen Unterschied bei der Anzahl der Zielverluste zwischen Geraden und Kurven feststellen können.

Tabelle 6-11: Ergebnisse zur Frage C1 und C2,  $\pm 8^\circ$ -Variante (Unterschied Erkennung zwischen Kurve (C1) und Gerade (C2), Gesamtkollektiv)

$\pm 8^\circ$	Median	1 (spät)	2	3	4	5 (rechtzeitig)
C1	4	5	5	4	10	6
C2	4	0	3	4	14	9
Differenz	-	0	+	D <sup>0</sup>	p- Wert	H
C2 – C1 <sup>o</sup>	3	12	15	15	0,175	0

Für die  $\pm 8^\circ$ -Version war der Unterschied bei der gegebenen Probandenanzahl zu gering, um diesen bzgl. der Erkennung zwischen Kurven und Geraden signifikant werden zu lassen. Die Probanden empfinden den Zeitpunkt der Erkennung für beide Kategorien weitgehend als rechtzeitig (Median 4).

### 6.2.2.2 Beginn der Erkennung von vorausfahrenden Fahrzeugen auf dem eigenen Fahrstreifen in Kurven

Die Frage C1 bezieht sich auf den zeitlichen Beginn der Erkennung von vorausfahrenden Fahrzeugen auf dem eigenen Fahrstreifen in Kurven.

C1	Wie wurden vor Ihnen fahrende Fahrzeuge auf dem eigenen Fahrstreifen in Kurven erkannt?								
	Variante A	spät	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	rechtzeitig
	Variante B	spät	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	rechtzeitig

Die Nullhypothese lautet: *Durch den von  $\pm 4^\circ$  auf  $\pm 8^\circ$  erweiterten horizontalen Sichtbereich werden Fahrzeuge in Kurven für den Probanden nicht früher von der ACC-Regelung erkannt* (Anhang 10.2, Hypothese 2a). Die Beurteilungsskala reicht von „spät“ bis „rechtzeitig“.

#### 6.2.2.2.1 Gesamtkollektiv

Aus Sicht der Probanden werden Fahrzeuge von der  $\pm 8^\circ$ -Version hochsignifikant früher erkannt, da hier 19 der 30 Teilnehmer im direkten Vergleich die  $\pm 8^\circ$ -Version besser bewerteten. Die Hypothese 2a, laut der Fahrzeuge nicht früher erkannt werden, kann demnach höchstsignifikant verworfen werden.



Tabelle 6-12: Ergebnisse zur Frage C1 (Erkennung Fahrzeuge auf eigenem Fahrstreifen in Kurven, Gesamtkollektiv)

C1	Median	1 (spät)	2	3	4	5 (rechtzeitig)
$\pm 4^\circ$	2	5	14	8	3	0
$\pm 8^\circ$	4	5	5	4	10	6
Differenz	-	0	+	D <sup>0-</sup>	p-Wert	H
$\pm 8^\circ - \pm 4^\circ$	6	4	20	10	0,003	1

#### 6.2.2.2.2 Zügige Fahrer

Aus Tabelle 6-13 ist aus der Betrachtung der Beurteilungsdifferenzen ( $\pm 8^\circ - \pm 4^\circ$ ) zu erkennen, dass die Probanden im Vergleich das  $\pm 8^\circ$ -System besser bewerten als das  $\pm 4^\circ$ -System. Unter Beurteilungsdifferenz wird jeweils der Vergleich der Antworten eines Probanden bezogen auf die beiden Varianten verstanden. Bei der Bildung der Differenzen  $\pm 8^\circ - \pm 4^\circ$  sind aufgrund der hohen Anzahl von 14 positiven Differenzen, lediglich drei Null- und Negativedifferenzen entstanden. Mit einem  $p$ -Wert von 0,000 (gerundet auf drei Nachkommastellen) beurteilen die „zügigen Fahrer“ die Erkennung mit der  $\pm 8^\circ$ -Version höchstsignifikant rechtzeitig als mit der  $\pm 4^\circ$ -Version.

Tabelle 6-13: Ergebnisse zur Frage C1 (Erkennung Fahrzeuge auf eigenem Fahrstreifen in Kurven, zügige Fahrer)

C1 zügig	1 (spät)	2	3	4	5 (rechtzeitig)	
$\pm 4^\circ$	4	8	3	2	0	
$\pm 8^\circ$	1	2	4	5	5	
Differenz	-	0	+	D <sup>0-</sup>	p-Wert	H
$\pm 8^\circ - \pm 4^\circ$	2	1	14	3	0,000	1

#### 6.2.2.2.3 „Komfortbetonte Fahrer“

Für eine Verwerfung der Nullhypothese muss gemäß der Binomialverteilung der Wert der Null- und Negativedifferenzen  $\leq 4$  sein. Dies ist bei der Gruppe der „komfortbetonten Fahrer“ jedoch nicht der Fall, so dass sich aus Sicht der „komfortbetonten Fahrer“ die Hypothese für diese Versuchsreihe bewährt hat.

Tabelle 6-14: Ergebnisse zur Frage C1 (Erkennung Fahrzeuge auf eigenem Fahrstreifen in Kurven, komfortbetonte Fahrer)

C1 Komfort	1 (spät)	2	3	4	5 (rechtzeitig)	
$\pm 4^\circ$	1	6	5	1	0	
$\pm 8^\circ$	4	3	0	5	1	
Differenz	-	0	+	D <sup>0-</sup>	p- Wert	H
$\pm 8^\circ - \pm 4^\circ$	4	3	6	7	0,426	0

### 6.2.2.3 Erkennung von vorausfahrenden Fahrzeugen auf dem eigenen geraden Fahrstreifen

Aufgrund der Ergebnisse des Vorversuchs wird die Annahme getroffen, dass eine Erweiterung des horizontalen Sichtbereichs keinen signifikanten Einfluss auf die Erkennung vorausfahrender Fahrzeuge hat. Die Frage C2 befasst sich mit der Erkennung von vorausfahrenden Fahrzeugen auf dem eigenen geraden Fahrstreifen.

C2	Wie wurden vor Ihnen fahrende Fahrzeuge auf dem eigenen geraden Fahrstreifen erkannt?							
	Variante A	spät	O	O	O	O	O	rechtzeitig
	Variante B	spät	O	O	O	O	O	rechtzeitig

Die Nullhypothese lautet: *Ein von  $\pm 4^\circ$  auf  $\pm 8^\circ$  erweiterter horizontaler Sichtbereich führt nicht zu einer rechtzeitigeren Erkennung von vor einem fahrenden Fahrzeugen auf dem eigenen geraden Fahrstreifen.* Die Beurteilungsskala reicht von „spät“ bis „rechtzeitig“.

#### 6.2.2.3.1 Gesamtkollektiv

Bei der Erkennung der Fahrzeuge auf dem eigenen geraden Fahrstreifen treten nahezu keine Unterschiede auf. Aus dem Median für beide Versionen wird gefolgert, dass die Probanden bei beiden Systemen mit der Erkennung der Zielfahrzeuge auf dem eigenen geraden Fahrstreifen zumindest nicht unzufrieden sind.

Tabelle 6-15: Ergebnisse zur Frage C2 (Erkennung Fahrzeuge auf eigenem Fahrstreifen auf Geraden, Gesamtkollektiv)

C2	Median	1 (spät)	2	3	3	5 (rechtzeitig)
$\pm 4^\circ$	4	0	4	7	12	7
$\pm 8^\circ$	4	0	3	4	14	9
Differenz	-	0	+	D <sup>0-</sup>	p- Wert	H
$\pm 8^\circ - \pm 4^\circ$	3	20	7	23	0,983	0

Die Untersuchung der zeitlichen Erkennung unterteilt in die beiden Fahrerklassen „zügig“ und „komfortbetont“ liefert keine signifikanten Unterschiede (Anhang 10.6.1).

#### 6.2.2.4 Verbesserungen aus Sicht der Probanden bei Annäherungsfahrten

Die Frage B13-4 bezieht sich auf die Verbesserung der Systemreaktion des ACC-Systems bei der Erkennung von Zielfahrzeugen auf Geraden.

B13-4	Inwiefern wünschen Sie sich in den folgenden Bereichen eine <b>Verbesserung des ACC-Systems?</b>					
	Bei der Erkennung von Zielfahrzeugen auf Geraden	keine	O	O	O	O

Aufgrund der Ergebnisse kann keine Signifikanzaussage bzgl. des Unterschieds der beiden Sichtbereichsvarianten bei dem geäußerten Verbesserungswunsch aus Sicht der Probanden für die Systemreaktion bei der Erkennung von Zielfahrzeugen auf Geraden getroffen werden.

Tabelle 6-16: Ergebnisse zur Frage B13-4 (Verbesserung bei Systemreaktion der Erkennung von Zielfahrzeugen auf Geraden)

B13-4	Median	1 (keine)	2	3	4	5 (sehr starke)
± 4°	2	7	10	9	4	0
± 8°	2	12	8	6	3	1
Differenz	-	0	+	D <sup>0</sup>	p- Wert	H
± 8° - ± 4°	9	7	14	16	0,286	0

13 % der Probanden sehen bei beiden Sichtbereichsvarianten tendenziell einen starken Verbesserungswunsch wie aus folgender Abbildung zu entnehmen ist.

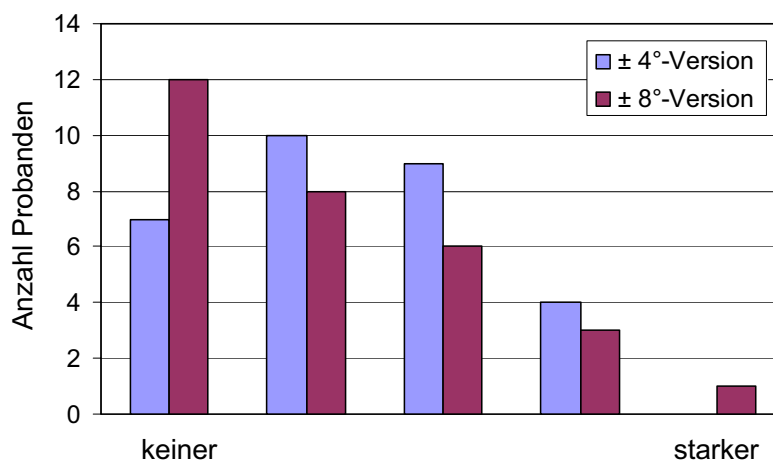


Abbildung 6-6: Verbesserungswunsch des ACC-Systemverhaltens aus Probandensicht bei der Erkennung von Zielfahrzeugen auf Geraden

Das Empfinden der Probanden bezogen auf die Verbesserung bei der rechtzeitigen Erkennung potentieller Zielfahrzeuge wurde in Frage B13-6 behandelt.

B13-6	Inwiefern wünschen Sie sich in den folgenden Bereichen eine <b>Verbesserung des ACC-Systems?</b>						
	Bei der rechtzeitigen Erkennung potentieller Zielfahrzeuge	keine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Aufgrund der Ergebnisse kann keine Signifikanzaussage bzgl. des Unterschieds der beiden Sichtbereichsvarianten bei dem geäußerten Verbesserungswunsch aus Sicht der Probanden für die ACC-Systemreaktion bei der rechtzeitigen Erkennung potentieller Zielfahrzeuge getroffen werden. Es ist jedoch eine Tendenz zur besseren Bewertung der  $\pm 8^\circ$ -Version zu erkennen.

Tabelle 6-17: Ergebnisse zur Frage B13-6 (Verbesserung bei der rechtzeitigen Erkennung potentieller Zielfahrzeuge)

B13-6	Median	1 (keine)	2	3	4	5 (sehr starke)
$\pm 4^\circ$	4	0	5	9	13	3
$\pm 8^\circ$	3	3	6	9	12	0
Differenz	-	0	+	D <sup>0</sup>	p-Wert	H
$\pm 8^\circ - \pm 4^\circ$	7	7	16	14	0,097	0

53 % der Probanden bei der  $\pm 4^\circ$ -Version und 40 % bei der  $\pm 8^\circ$ -Version sehen tendenziell einen starken Verbesserungswunsch wie aus folgender Abbildung zu entnehmen ist.

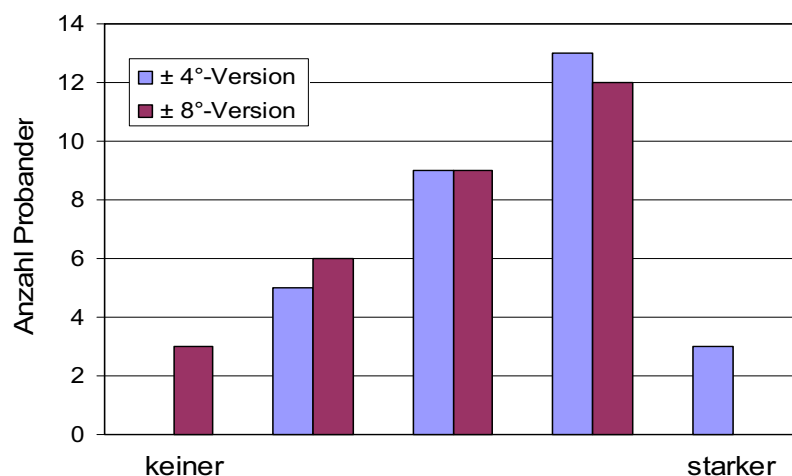


Abbildung 6-7: Verbesserungswunsch des ACC-Systemverhaltens aus Probandensicht für die Erkennung potentieller Zielfahrzeuge

### 6.2.3 Einschersituation

#### 6.2.3.1 Erkennung von vorausfahrenden Fahrzeugen in Einschersituationen auf Geraden

Die Fragen C7 und C8 beinhalten Fragestellungen bezüglich vorgekommener Einschersituationen auf gerader Strecke. Bei der Untersuchung wird zwischen Nah- (Frage C7) und Fernbereich (Frage C8) differenziert. Mit *Nahbereich* werden Situationen bis ca. 20 m Entfernung zum eigenen Fahrzeug und mit *Fernbereich* Einschersituationen in einer Entfernung über 20 m bezeichnet.

C7	Wie wurden <b>auf gerader Strecke</b> vor Ihnen einscherende Fahrzeuge <b>im Nahbereich</b> (bis ca. 20 m) erkannt?								
	<i>(Kreuzen Sie bitte „n.a.“ an, falls diese Situation nicht aufgetreten ist!)</i>								
	Variante A	spät	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	rechtzeitig	<input type="radio"/>
Variante B	spät	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	rechtzeitig	<input type="radio"/>	n.a.
C8	Wie wurden <b>auf gerader Strecke</b> vor Ihnen einscherende Fahrzeuge <b>im Fernbereich</b> (über 20 m) erkannt?								
	<i>(Kreuzen Sie bitte „n.a.“ an, falls diese Situation nicht aufgetreten ist!)</i>								
	Variante A	spät	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	rechtzeitig	<input type="radio"/>
Variante B	spät	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	rechtzeitig	<input type="radio"/>	n.a.

Die Nullhypothese lautet: *Durch den von  $\pm 4^\circ$  auf  $\pm 8^\circ$  erweiterten horizontalen Sichtbereich werden Fahrzeuge in Einschersituationen für den Probanden auf Geraden im Nah-/ Fernbereich nicht früher erkannt* (Anhang 10.2, Hypothese 4b). Es sind die Antworten von „spät“ bis „rechtzeitig“ möglich.

#### 6.2.3.2 Gesamtkollektiv

Bei mehr als einem Drittel der Probanden traten nach eigenen Angaben keine Einschersituationen im Nahbereich bis 20 m auf. Dementsprechend konnten für den direkten Vergleich nur 19 Stichproben-Paare herangezogen werden, der  $p$ -Wert entstammt auch einer  $B(19, 0,6)$ -Verteilung. Neun positive Differenzen gegenüber drei negativen lassen eine Tendenz einer besseren Bewertung für die  $\pm 8^\circ$ -Variante erkennen. Dies reicht aber für eine Signifikanzaussage bei der geringeren Stichprobe nicht aus ( $p = 0,33$ ).

Tabelle 6-18: Ergebnisse zur Frage C7 (Einschersituation Nahbereich, Gesamtkollektiv)

C7	Median	1 (spät)	2	3	4	5 (rechtzeitig)	n.a. <sup>93</sup>
± 4°	3	2	7	9	4	1	7
± 8°	4	1	5	5	10	3	6
Differenz	-	0	+	D <sup>0-</sup>	p-Wert	H	n.a.
± 8° - ± 4°	3	7	9	10	0,333	0	11

In Einschersituationen im Fernbereich fällt die Bewertung für beide Varianten sehr ähnlich und nicht signifikant unterschiedlich aus.

Tabelle 6-19: Ergebnisse zur Frage C8 (Einschersituation Fernbereich, Gesamtkollektiv)

C8	Median	1 (spät)	2	3	4	5 (rechtzeitig)	n.a.
± 4°	4	0	0	6	15	9	0
± 8°	4	0	1	5	12	12	0
Differenz	-	0	+	D <sup>0-</sup>	p-Wert	H	n.a.
± 8° - ± 4°	3	22	5	25	0,999	0	0

Die Untersuchung der zeitlichen Erkennung, unterteilt in die beiden Fahrerklassen „zügig“ und „komfortbetont“, liefert keine signifikanten Unterschiede (Anhang 10.6.2).

### 6.2.3.3 Verbesserungen aus Sicht der Probanden bei Einschersituationen

Die Frage B13-8 bezieht sich auf die Verbesserung der Systemreaktion des ACC-Systems bei einscherenden Fahrzeugen.

B13-8	Inwiefern wünschen Sie sich in den folgenden Bereichen eine <b>Verbesserung des ACC-Systems?</b>						
	Bei der Systemreaktion auf einscherende Fahrzeuge	keine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Aufgrund der Ergebnisse kann keine Signifikanzaussage bzgl. des Unterschieds der beiden Sichtbereichsvarianten bei dem geäußerten Verbesserungswunsch aus Sicht der Probanden für die ACC-Systemreaktion bei einscherenden Fahrzeugen getroffen werden.

<sup>93</sup> „n.a.“ wurde von den Probanden angekreuzt, falls diese Situation nicht aufgetreten ist.

Tabelle 6-20: Ergebnisse zur Frage B13-8 (Verbesserung bei Systemreaktion auf einsicherende Fahrzeuge)

B13-8	Median	1 (keine)	2	3	4	5 (sehr starke)
$\pm 4^\circ$	4	1	5	7	14	2
$\pm 8^\circ$	3	3	7	7	7	6
Differenz	-	0	+	D <sup>0</sup>	p- Wert	H
$\pm 8^\circ - \pm 4^\circ$	9	8	13	17	0,422	0

Die Hälfte der Probanden bei der  $\pm 4^\circ$ -Version und etwas mehr als ein Drittel bei der  $\pm 8^\circ$ -Version sehen tendenziell einen starken Verbesserungswunsch wie aus folgender Abbildung zu entnehmen ist.

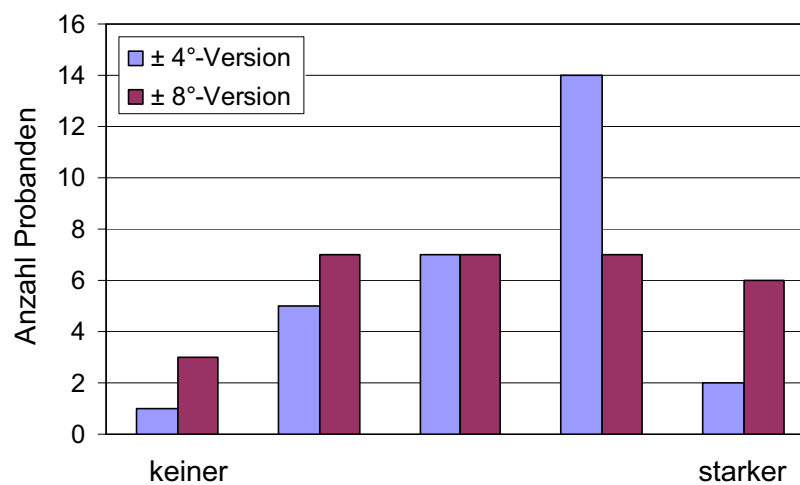


Abbildung 6-8: Verbesserungswunsch des ACC-Systemverhaltens aus Probandensicht bei einsicherenden Fahrzeugen

## 6.2.4 Beschleunigungsverhalten

Es wird angenommen, dass die Gruppe der „zügigen Fahrer“ verglichen mit der Gruppe der „komfortbetonten Fahrer“ mit betragsmäßig größeren Beschleunigungswerten, zeitlich späterem Bremsbeginn und daraus resultierenden größeren Bremsbeschleunigungswerten zufrieden sein wird. Da sich die beiden getesteten ACC-Versionen nur im Sichtbereich und nicht im Regelverhalten bzgl. Beschleunigungs- und Bremsverhalten unterscheiden, wird zunächst kein signifikanter Unterschied erwartet. Im Folgenden werden die Fragen C12 und C13 untersucht, die das Beschleunigungsverhalten des ACC-Systems zum Inhalt haben.

### 6.2.4.1 Beschleunigung

Das Empfinden der Beschleunigung des ACC-Systems wird in Frage C13 abgefragt. Die Bewertungsskala reicht von „zu schwach“ bis „zu stark“.

C13	Wie haben Sie die <b>Beschleunigung</b> des ACC-Systems empfunden? (Kreuzen Sie bitte die Mitte an, falls Sie die Erkennung als „genau richtig“ empfanden!)						
	Variante A	als zu schwach	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	als zu stark
	Variante B	als zu schwach	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	als zu stark

#### 6.2.4.1.1 Gesamtkollektiv

Für beide Varianten wird kein signifikanter Unterschied festgestellt und das Verhalten bezogen auf die Beschleunigung wird als genau angemessen empfunden, was sich in dem Median von 3 widerspiegelt.

Tabelle 6-21: Ergebnisse zur Frage C13 (Beschleunigung, Gesamtkollektiv)

C13	Median	1 (zu schwach)	2	3	4	5 (zu stark)
± 4°	3	5	8	11	4	2
± 8°	3	5	6	13	5	1
Differenz	-	0	+	D <sup>0</sup>	p- Wert	H
± 8° - ± 4°	4	20	6	24	0,994	0

#### 6.2.4.2 Zeitlicher Beschleunigungsbeginn bei dem Überholen

In Frage C12 wird der Proband befragt, inwiefern der zeitliche Beschleunigungsbeginn bei dem Überholen seinen Erwartungen entspricht oder zeitlich betrachtet zu früh oder zu spät einsetzt. Gerade bei Überholvorgängen ist ein frühes Einsetzen der Beschleunigung sehr zweckmäßig, um den nachfolgenden Verkehr nicht zu behindern. Bei Frage C12 reicht die Bewertungsskala von „zu früh“ bis „zu spät“.

C12	Entspricht der <b>Beschleunigungsbeginn</b> des ACC-Fahrzeugs bei dem Überholen Ihren Erwartungen? (Kreuzen Sie bitte die Mitte an, falls Sie die Erkennung als zum „richtigen Zeitpunkt“ empfanden!)						
	Variante A	zu früh	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	zu spät
	Variante B	zu früh	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	zu spät

#### 6.2.4.2.1 Gesamtkollektiv

Die Probanden bewerten den Beschleunigungsbeginn bei dem Überholen des ±8°-Systems im Vergleich zur ±4°-Version insgesamt als etwas später. Der Unterschied war jedoch bei der Probandenanzahl zu gering, um einen signifikanten Unterschied feststellen zu können. Bei beiden getesteten Sichtbereichsversionen wird der Beginn der Beschleunigung bei Überholvorgängen als tendenziell zu spät beurteilt. Manche Probanden äußerten während der Fahrt,



dass sie sich in manchen Situationen, beispielsweise bei dem Wechsel auf den linken Autobahnfahrstreifen zum Überholen des vorausfahrenden Zielfahrzeugs, obwohl eine Überholunterstützung in der Regelung enthalten war, durch das verzögerte Einsetzen der Fahrzeugbeschleunigung als Verkehrshindernis für den nachfolgenden Verkehr fühlten. Oftmals reagierten die Probanden mit einem Eingriff in das Regelverhalten und übersteuerten das System durch selbstständiges Gasgeben.

*Tabelle 6-22: Ergebnisse zur Frage C12 (Beschleunigungsbeginn Überholen, Gesamtkollektiv)*

C12	Median	1 (früh)	2	3	4	5 (spät)
± 4°	4	0	1	10	12	7
± 8°	4	0	0	7	16	7
Differenz	-	0	+	D <sup>0-</sup>	p-Wert	H
± 8° - ± 4°	3	19	8	22	0,957	0

Die Untersuchung der zeitlichen Erkennung unterteilt in die beiden Fahrerklassen „zügig“ und „komfortbetont“ liefert keine signifikanten Unterschiede (Anhang 10.6.3).

#### 6.2.4.3 Verbesserungen aus Sicht der Probanden für das Beschleunigungsverhalten

Die Frage B13-1 bezieht sich auf die Verbesserung der Systemreaktion des ACC-Systems bei dem Beschleunigungsverhalten.

B13-1	Inwiefern wünschen Sie sich in den folgenden Bereichen eine <b>Verbesserung des ACC-Systems?</b>					
	Bei dem Beschleunigungsverhalten	keine	O	O	O	O

Aufgrund der Ergebnisse kann kein signifikanter Unterschied der beiden Sichtbereichsvarianten bei dem geäußerten Verbesserungswunsch aus Sicht der Probanden für das Beschleunigungsverhalten festgestellt werden.

*Tabelle 6-23: Ergebnisse zur Frage B13-1 (Verbesserung bei Systemreaktion bei dem Beschleunigungsverhalten)*

B13-1	Median	1 (keine)	2	3	4	5 (sehr starke)
± 4°	4	0	4	9	13	4
± 8°	4	3	2	3	19	3
Differenz	-	0	+	D <sup>0-</sup>	p-Wert	H
± 8° - ± 4°	8	13	9	21	0,906	0

55 % der Probanden bei der ±4°-Version und 70 % bei der ±8°-Version sehen tendenziell einen starken Verbesserungswunsch wie aus folgender Abbildung zu entnehmen ist.

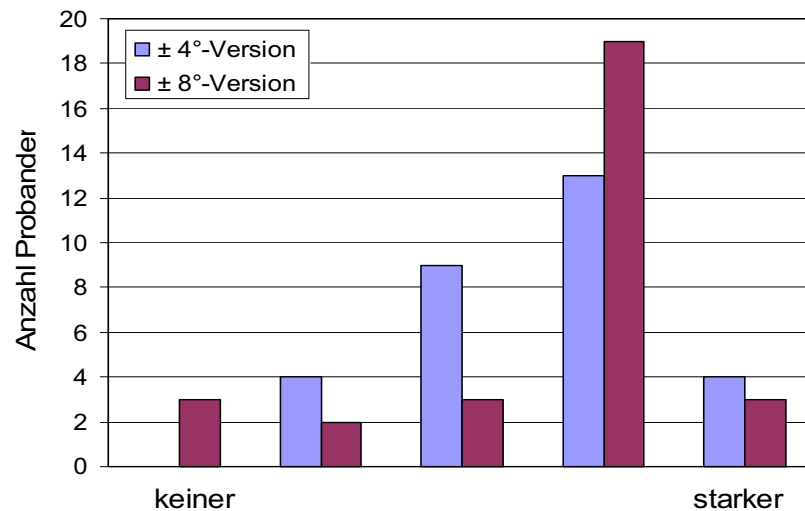


Abbildung 6-9: Verbesserungswunsch des ACC-Systemverhaltens aus Probandensicht bei dem Beschleunigungsverhalten

## 6.2.5 Bremsverhalten

### 6.2.5.1 Bremsintensität

Die Beurteilung der Probanden, wie sie die Bremsintensität empfunden haben, wird in Frage C15 ermittelt. Die Bewertungsskala reicht von „zu schwach“ bis „zu stark“.

Wie haben Sie die <b>Bremsintensität</b> des ACC-Systems empfunden? (Kreuzen Sie bitte die Mitte an, falls Sie die Erkennung als „genau richtig“ empfanden!)	
C15	Variante A      als zu schwach <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> als zu stark
	Variante B      als zu schwach <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> als zu stark

#### 6.2.5.1.1 Gesamtkollektiv

Für beide Varianten wird kein signifikanter Unterschied festgestellt und das Verhalten bezogen auf die Bremsintensität wird als genau angemessen empfunden, was sich in dem Median von 3 widerspiegelt. Bei der  $\pm 4^\circ$ -Version ist im Vergleich zur  $\pm 8^\circ$ -Version eine leichte Tendenz zu einer „zu starken“ Bremsintensität zu erkennen.

Tabelle 6-24: Ergebnisse zur Frage C15 (Bremsintensität, Gesamtkollektiv)

C15	Median	1 (zu schwach)	2	3	4	5 (zu stark)
± 4°	3	0	4	12	10	4
± 8°	3	0	3	16	10	1
Differenz	-	0	+	D <sup>0-</sup>	p- Wert	H
± 8° - ± 4°	7	21	2	28	1,0	0

### 6.2.5.2 Bremsbeginn bei der Annäherung an ein Zielfahrzeug

Frage C14 gibt Aufschluss über die Erwartungen der Probanden bezüglich des Bremsbeginns bei der Annäherung an ein Zielfahrzeug. Bei Frage C14 reicht die Bewertungsskala von „zu früh“ bis „zu spät“.

C14	Entspricht der <b>Bremsbeginn</b> bei dem Annähern an ein Zielfahrzeug Ihren Erwartungen?						
	<i>(Kreuzen Sie bitte die Mitte an, falls Sie die Erkennung als zum „richtigen Zeitpunkt“ empfanden!)</i>						
	Variante A	zu früh	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Variante B	zu früh	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	zu spät

#### 6.2.5.2.1 Gesamtkollektiv

Durch den vergrößerten Sichtbereich wird erwartet, dass Zielfahrzeuge, vor allem in Einschersituationen, früher erkannt werden und somit der Annäherungsprozess mit einer zeitlich früheren Einleitung des Verzögerungsmanövers beginnt. Ein signifikanter Unterschied des erweiterten horizontalen Sichtbereichs auf das Bremsverhalten wird nicht festgestellt (Tabelle 6-25). Die Probanden bewerten den Bremsbeginn der ±8°-Version nicht anders als den der ±4°-Version.

Tabelle 6-25: Ergebnisse zur Frage C14 (Bremsbeginn, Gesamtkollektiv)

C14	Median	1 (früh)	2	3	4	5 (spät)
± 4°	4	1	2	9	15	3
± 8°	3,5	0	3	12	13	2
Differenz	-	0	+	D <sup>0-</sup>	p- Wert	H
± 4° - ± 8°	7	18	5	25	0,999	0

Die Untersuchung der zeitlichen Erkennung unterteilt in die beiden Fahrerklassen „zügig“ und „komfortbetont“ liefert keine signifikanten Unterschiede (Anhang 10.6.4).

### 6.2.5.3 Verbesserungen aus Sicht der Probanden für das Bremsverhalten

Die Frage B13-2 bezieht sich auf die Verbesserung der Systemreaktion des ACC-Systems bei dem Bremsverhalten.

B13-2	Inwiefern wünschen Sie sich in den folgenden Bereichen eine <b>Verbesserung des ACC-Systems?</b>						
	Bei dem Bremsverhalten	keine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Aufgrund der Ergebnisse kann kein signifikanter Unterschied der beiden Sichtbereichsvarianten bei dem geäußerten Verbesserungswunsch aus Sicht der Probanden für das Bremsverhalten festgestellt werden.

Tabelle 6-26: Ergebnisse zur Frage B13-2 (Verbesserung bei Systemreaktion bei dem Beschleunigungsverhalten)

B13-2	Median	1 (keine)	2	3	4	5 (sehr starke)
± 4°	4	0	5	10	14	1
± 8°	3	1	6	11	8	4
Differenz	-	0	+	D <sup>0</sup> -	p-Wert	H
± 8° - ± 4°	7	13	10	20	0,824	0

Die Hälfte der Probanden bei der ±4°-Version und 40 % bei der ±8°-Version sehen tendenziell einen starken Verbesserungswunsch wie aus folgender Abbildung zu entnehmen ist.

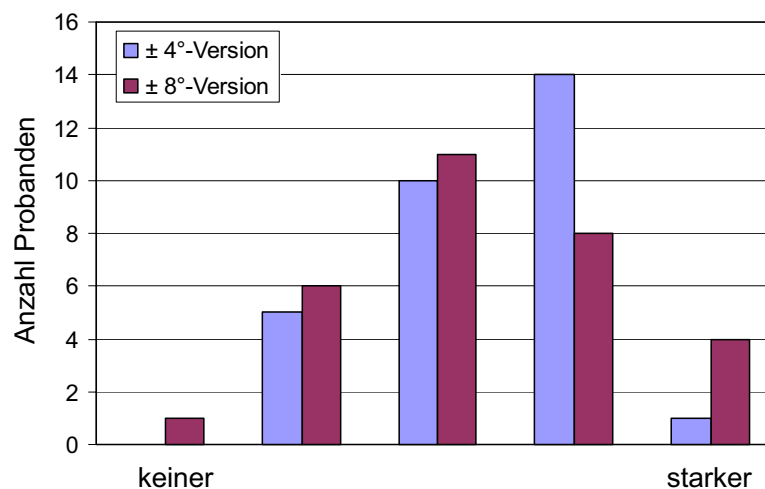


Abbildung 6-10: Verbesserungswunsch des ACC-Systemverhaltens aus Probandensicht bei dem Bremsverhalten

## 6.2.6 Fazit

### 6.2.6.1 Folgefahrten in Kurven

Bei Folgefahrten können die Probanden einen signifikanten Unterschied zwischen der Anzahl der Zielverluste auf Geraden und Kurven feststellen. Dieser empfundene Unterschied ist bei der  $\pm 4^\circ$ -Variante im Vergleich zur  $\pm 8^\circ$ -Variante deutlicher, d.h. die Probanden haben eine höhere Anzahl von Zielverlusten bei Kurven im Vergleich zu den geraden Streckenanteilen wahrgenommen. Weiterhin sehen die Probanden einen signifikanten Unterschied bei der Anzahl der Zielverluste in Kurven zugunsten der  $\pm 8^\circ$ -Version.

Ein Wiedererkennen von Fahrzeugen nach einem Zielverlust in Kurven während der Fahrt auf einer kurvenreichen Landstraße wird ausschließlich von dem „zügigen Probandenkollektiv“ bei der  $\pm 4^\circ$ -Version als zu spät empfunden. Für dieses Kollektiv führt eine Erweiterung des horizontalen Sichtbereichs von  $\pm 4^\circ$  auf  $\pm 8^\circ$  hochsignifikant zu einer Verbesserung der Wiedererkennung.

Bzgl. der zeitlichen Dauer der Erkennung von vorausfahrenden Fahrzeugen auf dem eigenen Fahrstreifen in Kurven sind die Probanden der Ansicht, dass die  $\pm 8^\circ$ -Version das Zielfahrzeug hochsignifikant länger erkennt als die  $\pm 4^\circ$ -Version.

### 6.2.6.2 Annäherungsfahrten

Bei Annäherungsfahrten können die Probanden bei der  $\pm 4^\circ$ -Version einen Unterschied bei der Anzahl der Zielverluste zwischen Geraden und Kurven feststellen. Für die  $\pm 8^\circ$ -Version war der Unterschied bei der gegebenen Probandenanzahl zu gering, um diesen bzgl. der Erkennung zwischen Kurven und Geraden signifikant werden zu lassen. Der Zeitpunkt der Erkennung wird für beide Kategorien weitgehend als rechtzeitig empfunden.

Aus Sicht der Probanden werden Fahrzeuge bei der  $\pm 8^\circ$ -Version bzgl. des Beginns der Erkennung von vorausfahrenden Fahrzeugen auf dem eigenen Fahrstreifen in Kurven hochsignifikant früher erkannt.

### 6.2.6.3 Einschersituationen

Lediglich in dem Untersuchungspunkt „Erkennung von vorausfahrenden Fahrzeugen in Einschersituationen im Nahbereich auf Geraden“ ist eine Tendenz einer besseren Bewertung für die  $\pm 8^\circ$ -Variante zu erkennen. Dies reicht aber für eine Signifikanzaussage bei der geringeren Stichprobe nicht aus. In den restlichen analysierten Situationen gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Varianten. Festzuhalten ist, dass in Einschersituationen im Fernbereich die Bewertung für beide Varianten von mehr als 75 % der „komfortbetonten Fahrer“ als positiv beurteilt wird.

#### 6.2.6.4 Beschleunigungsverhalten

Es wird bei diesem Untersuchungsschwerpunkt kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Varianten festgestellt und das Verhalten von den Probanden im Gesamteindruck bezogen auf die Beschleunigung als angemessen empfunden. Der Beschleunigungsbeginn bei dem Überholen wird bei dem  $\pm 8^\circ$ -System im Vergleich zur  $\pm 4^\circ$ -Version als etwas später beurteilt, jedoch für beide getestete Sichtbereichsversionen insgesamt als tendenziell zu spät.

Knapp 30 % der Gruppe der „zügigen Fahrer“ sind bei der  $\pm 4^\circ$ -Version und 41 % bei der  $\pm 8^\circ$ -Version mit der Beschleunigung des Systems zufrieden. Die restlichen Probanden sind tendenziell der Meinung, dass die aktuellen Beschleunigungswerte zu gering seien. Die Intensität der Beschleunigung wird bei der Gruppe der „komfortorientierten Fahrer“ bei beiden Versionen von 46 % der Versuchsteilnehmer als angemessen bezeichnet.

#### 6.2.6.5 Bremsverhalten

Bei dem Bremsverhalten wird kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Varianten festgestellt. Der Untersuchungsgegenstand „Bremsintensität“ wird als angemessen empfunden. Das zeitliche Einsetzen der Bremswirkung bei der Annäherung an ein Zielfahrzeug empfinden mehr als 50 % der Gruppe der „zügigen Fahrer“ als zu spät.

## 6.3 Ergebnisse zu den objektiven Kriterien

In diesem Kapitel werden die ermittelten objektiven Messdaten bezogen auf die Analyse der Kurven- und Einschersituationen aufgeführt und die beiden Sichtbereichsvarianten auf messtechnisch signifikante Unterschiede untersucht. Im Anschluss erfolgt die Darstellung der Ergebnisse einer separat durchgeführten Untersuchung des Einflusses der Fahrschlauchbreite.

### 6.3.1 Kurvenabschnitt

Die Vorgehensweise bei der Auswertung der Messdaten und die Situationsidentifizierung für den Kurvenabschnitt ist Anhang 10.7.1 zu entnehmen. Wie aus Tabelle 6-27 zu ersehen, ist sowohl die Anzahl der Situationen insgesamt als auch die Verteilung auf Rechts-/ Linkskurven bei beiden Varianten ähnlich, was auf vergleichbare Versuchsbedingungen zurückzuführen ist.

Tabelle 6-27: Identifizierte Kurvensituationen

Identifizierung Kurven	Sichtbereichsversion	
	± 4°	± 8°
Anzahl Kurven	2.647	2.769
Anzahl Rechtskurven	1.297	1.387
% Rechtskurven	49,00 %	50,09 %
Anzahl Kurven mit aktiviertem ACC	2.341	2.543
% Kurven mit aktiviertem ACC	88,44 %	91,84 %

#### 6.3.1.1 Folgefahrten bei Kurven

Die Betrachtung der aufgetretenen Zielverluste und dazugehörigen abhängigen Merkmale ist in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 6-28: Mediane der Merkmale bei Zielverlust in Kurven und Ergebnisse des Wilcoxon-Rangsummentests

Mediane und Rangsummentest bei Zielverlust	Sichtbereichsversion		Signifikant ja=1, nein=0	
	$\pm 4^\circ$	$\pm 8^\circ$	$\rho$ - Wert	H
Längsabstand [m]	24,5	24,9	0,670	0
Lateralabstand [m]	1,63	2,88	0,000	1
Verlustzeitpunkt ab Kurvenbeginn [s]	2,55	3,53	0,000	1
Verlustzeitpunkt ab Kurvenbeginn [%]	32,3	41,4	0,000	1
Verlustwinkel [°]	3,76	7,36	0,000	1
Verlustradius [m]	273	101	0,000	1
Mittlerer Radius Kurve mit Zielverlust [m]	248	141	0,000	1
Mittlerer Radius Kurve ohne Zielverlust [m]	706	486	0,000	1
Relativgeschwindigkeit [km/h]	-1,80	-3,60	0,018	1
Beschleunigung 1 s nach Zielverlust [m/s <sup>2</sup> ]	0,06	0,09	0,377	0
Beschleunigung 2 s nach Zielverlust [m/s <sup>2</sup> ]	0,09	0,13	0,031	1

Hierbei ist auffallend, dass die angenommene Hypothese auf Gleichheit der beiden getesteten Sichtbereichsvarianten für fast alle Merkmale hochsignifikant und in vielen Fällen sogar höchstsignifikant verworfen werden kann. Die Ausnahme bilden hierbei der Längsabstand und die Längsbeschleunigung eine Sekunde nach Zielverlust.

In den nachfolgenden beiden Diagrammen sind die Anzahl der Folgefahrten mit und ohne Zielverlust gegenübergestellt. Der festgestellte signifikante Unterschied beider Sichtbereichsvarianten wird dadurch ersichtlich, dass es bei einer vergleichbaren Gesamtanzahl an Folgesituationen im Bereich der Fahrten mit Zielverlust zu signifikant weniger Situationen bei den Kurvenkrümmungen<sup>94</sup> bis  $0,01 \text{ m}^{-1}$  bei der  $\pm 8^\circ$ -Version kommt. Werden die Folgesituationen ohne Zielverlust betrachtet, so sind bei Kurvenkrümmungen ab  $0,0015 \text{ m}^{-1}$  signifikant mehr Situationen bei der  $\pm 8^\circ$ -Version im Vergleich zu der  $\pm 4^\circ$ -Version festzustellen.

<sup>94</sup> Bestimmungsvorschrift der Kurvenkrümmung siehe Kapitel 2.2



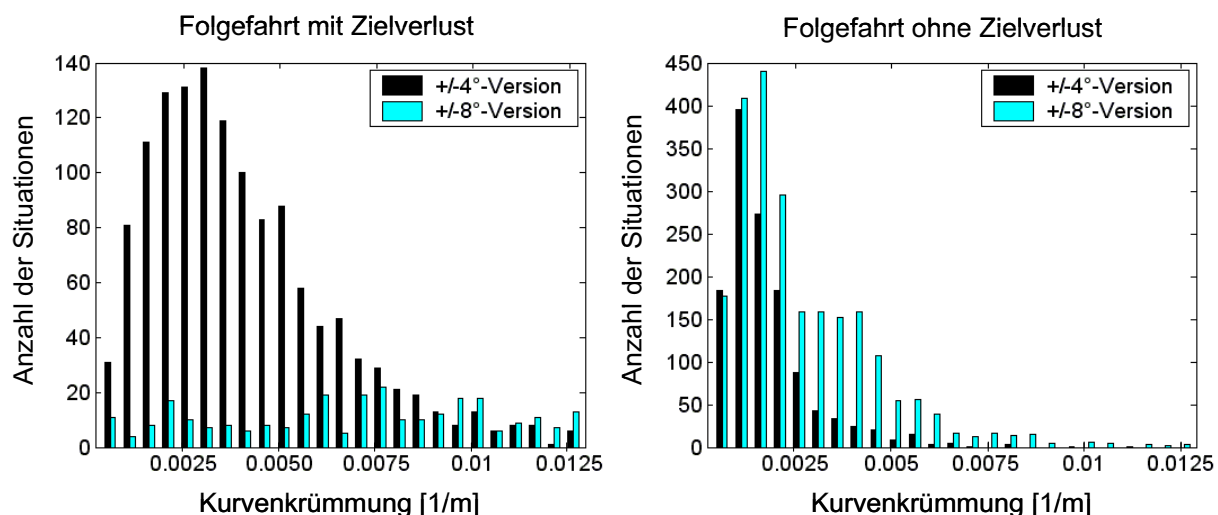


Abbildung 6-11: Gegenüberstellung Folgefahrt mit (links) und ohne (rechts) Zielverlust

Auffällig bei den Folgefahrten mit Zielverlust im linken Diagramm ist, dass sich die Anzahl an Situationen bei kleinen Kurvenkrümmungen zwischen den beiden Sichtbereichsversionen unterscheidet. Eine Analyse des Längsabstandes zum Zielverlustzeitpunkt bei Folgefahrten ergab, dass mit der  $\pm 4^\circ$ -Version durchgängig die Zielobjekte bei einem kleineren Abstand als bei der  $\pm 8^\circ$ -Version verloren werden und zusätzliche Zielobjektverluste entstanden sind.

Zur Untersuchung des Einflusses ausgewählter Merkmale auf den mittleren Kurvenradius mit Zielverlust wurde eine Regressionsanalyse durchgeführt (Anhang 10.7.1). Als einzige der gewählten Variablen wurde für den Längsabstand zum Zielobjekt ein signifikanter Zusammenhang festgestellt. Der mittlere Kurvenradius mit Zielverlust wird gemäß dem Koeffizienten von  $TO_{d_x}$  mit steigendem Längsabstand größer. Überraschenderweise hat jedoch die gewählte Zeitlücke, die diesen Abstand beeinflusst, keinen Einfluss. Ebenso geringen Einfluss haben der Sichtbereich, die Differenz aus gewählter und tatsächlicher Geschwindigkeit, das Vorzeichen der Kurve sowie die Relativgeschwindigkeit zum Zielfahrzeug.

Eine Regressionsanalyse zur Bestimmung der Einflussparameter auf den relativen Verlustzeitpunkt des Zielobjektes bei Kurvenfahrten wurde zusätzlich durchgeführt. Die gewählten Parameter wurden beibehalten und um den mittleren Kurvenradius ergänzt. In Tabelle 6-29 sind die Ergebnisse dargestellt.

Die Analyse führt zu drei höchstsignifikanten Einflussparametern: der Sichtbereich, der Längsabstand und der Relativgeschwindigkeit zum Zielfahrzeug. Die bereits aus Tabelle 6-28 gewonnene Erkenntnis, dass bei Fahrten mit der  $\pm 8^\circ$ -Version der Zielverlust zu einem späteren Zeitpunkt stattfindet, wird hiermit bestätigt. Anhand des negativen Koeffizienten des Längsabstands wird deutlich, dass eine Verringerung des Abstandes zu einer Erhöhung des relativen Verlustzeitpunkts führt. Dagegen verschiebt sich durch eine positive Relativgeschwindigkeit (d.h. das Zielfahrzeug entfernt sich vom ACC-Fahrzeug) der Verlustzeitpunkt auf später. Auch als signifikant mit negativem Einfluss getestet wurde die Differenz aus ge-

wählter und tatsächlicher Fahrgeschwindigkeit. Dies bedeutet, dass sich der Verlustzeitpunkt bei geringer oder gar negativer Differenz (durch eingreifendes Gasgeben des Fahrers) erhöht.

Tabelle 6-29: Ergebnisse einer Regressionsanalyse für den relativen Verlustzeitpunkt des Zielobjekts bei Kurvenfahrt

	Koeffizienten	Standardfehler	p-Wert	Signifikanz
Zeitlücke $\tau_{set}$	1,8074	2,1294	0,3961	
<b>Sichtbereichsversion <math>\pm 8^\circ</math> vs. <math>\pm 4</math></b>	<b>11,2870</b>	<b>2,0412</b>	<b>0,0000</b>	<b>***</b>
$v_{diff}^{95}$	<b>-0,1006</b>	<b>0,0449</b>	<b>0,0253</b>	<b>*</b>
Rechts- vs. Linkskurve	-0,6267	1,7652	0,7226	
<b>Zielobjekt Längsabstand <math>TO_{dx}</math></b>	<b>-0,3232</b>	<b>0,0708</b>	<b>0,0000</b>	<b>***</b>
<b>Zielobjekt Relativgeschwindigkeit <math>v_{rel}</math></b>	<b>0,2765</b>	<b>0,1015</b>	<b>0,0065</b>	<b>***</b>
Mittlerer Kurvenradius	0,0005	0,0003	0,0663	
$R^2$	0,0306			

Aufgrund des vorliegenden  $p$ -Wertes kann keine Aussage über Einfluss des mittlern Kurvenradius gemacht werden. Wie zuvor haben das Vorzeichen der Kurvenkrümmung und der gewählte Zeitabstand keinen Einfluss.

In Tabelle 6-30 werden die Ergebnisse der Situationen dargestellt, in denen das Zielfahrzeug nach einem Zielverlust wieder erkannt wird.

Tabelle 6-30: Mediane der Merkmale bei Wiedererkennung des Zielfahrzeugs nach Zielverlust

Mediane Wiedererkennung	Sichtbereichsversion		Signifikant ja=1, nein=0	
	$\pm 4^\circ$	$\pm 8^\circ$	p- Wert	H
Dauer Wiedererkennung nach Zielverlust [s]	3,36	3,35	0,670	0
<b>Wiedererkennungs-Radius [m]</b>	<b>296,21</b>	<b>240,94</b>	<b>0,000</b>	<b>1</b>
Wiedererkennungs-Winkel [°]	2,42	2,08	0,346	0
Lateralabstand [m]	1,00	0,88	0,295	0
Längsabstand [m]	24,50	28,00	0,051	0

Bei der Untersuchung dieser Situationen können kaum Unterschiede zwischen den Sichtbereichen bei den ausgewählten Merkmalen festgestellt werden. Insbesondere bei der Zeit, die zwischen einem Zielverlust und der Wiedererkennung vergeht, war der Unterschied in der

<sup>95</sup> Differenz aus gewählter und tatsächlicher Geschwindigkeit

Verteilung der beiden Versionen bei der gegebenen Probandenanzahl zu gering, um diesen signifikant werden zu lassen. Somit kann die Hypothese, dass Fahrzeuge in Kurven durch den erweiterten horizontalen Sichtbereich nach einem Zielverlust nicht früher wieder erkannt werden, nicht signifikant widerlegt werden. Ausgehend von den theoretischen maximalen Sichtbereichen beider Versionen ist es umso erstaunlicher, dass bei dem Winkel, unter dem die Fahrzeuge wieder erkannt werden, kein signifikanter Unterschied feststellbar ist. Als Begründung wird vermutet, dass die Wiedererkennung des Zielobjekts von der Fahrschlauchzuordnung dominiert wird. In einem weiteren Interpretationsansatz wird davon ausgegangen, dass die Krümmungsänderung und damit die Winkelgeschwindigkeit des Zielobjektes gegen Ende der Kurve größer werden und bedingt durch die höhere Änderungsrate die Trackingdauer verlängert wird. Dies kann sich für diesen Fall in einer Reduzierung des nutzbaren Sichtbereichs ausdrücken.

Werden die Kurvenkrümmungen der Folgefahrten „mit“ und „ohne Zielverlust“ für jede Variante gegenübergestellt, so ergeben sich die in den folgenden Abbildungen dargestellten Ergebnisse.

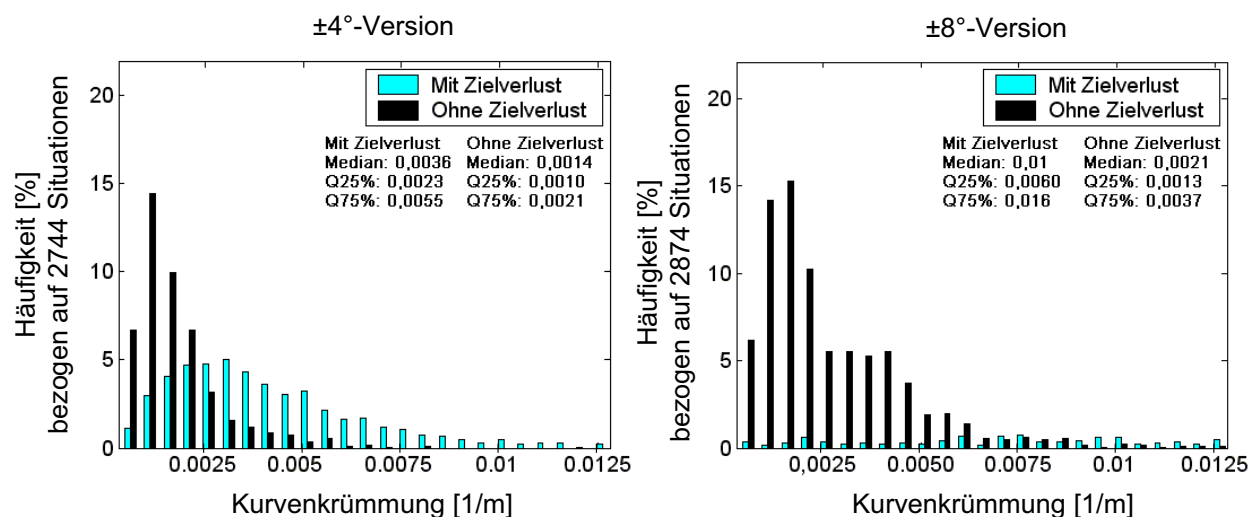


Abbildung 6-12: Häufigkeit [%] der Kurvenkrümmung, lineare Darstellung ( $\pm 4^\circ$ -Version links,  $\pm 8^\circ$ -Version rechts)

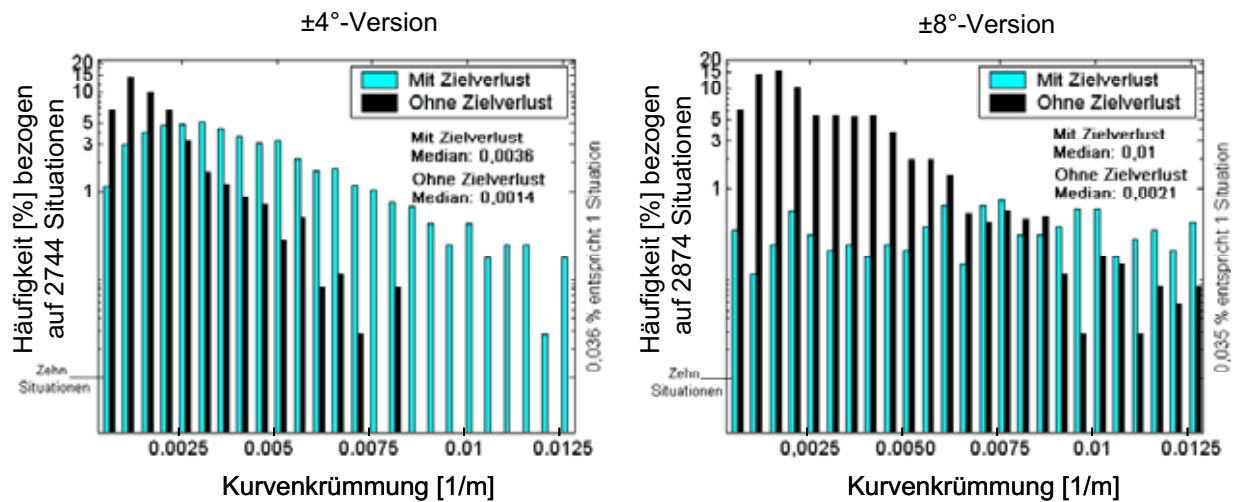


Abbildung 6-13: Häufigkeit [%] der Kurvenkrümmung, logarithmische Darstellung ( $\pm 4^\circ$ -Version links,  $\pm 8^\circ$ -Version rechts)

Für die  $\pm 8^\circ$ -Version lässt sich aus der *Abbildung 6-14* ein Wert von  $0,007 \text{ m}^{-1}$  für die Krümmung (ca. 140 m Radius) ablesen, bei dem sich die Folgefahrten mit und ohne Zielverlust die Waage halten. Im Gegensatz dazu liegt dieser Wert bei der  $\pm 4^\circ$ -Version bereits bei  $0,0025 \text{ m}^{-1}$  für die Krümmung (ca. 400 m Radius). Diese Betrachtung wird als Indiz für eine effektive Kurventauglichkeitsaussage herangezogen und bezieht sich auf die Gegenüberstellung in *Abbildung 4-8*.

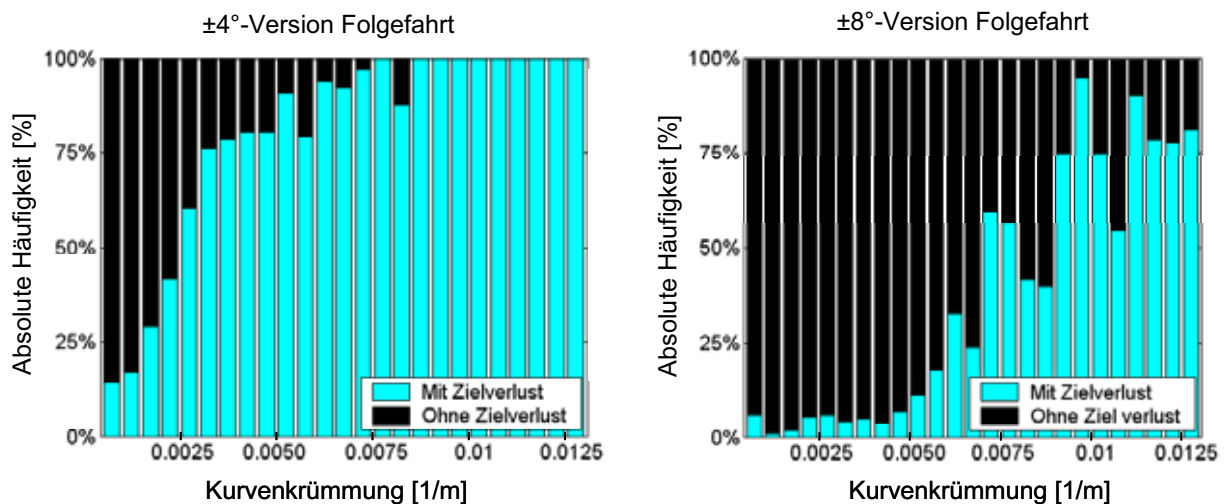


Abbildung 6-14: Vergleich der absoluten Häufigkeiten „mit“ und „ohne Zielverlust“ ( $\pm 4^\circ$ -Version links,  $\pm 8^\circ$ -Version rechts)

### 6.3.2 Einschersituation

Die Vorgehensweise bei der Auswertung der Messdaten und die Situationsidentifizierung für die Analyse der Einschersituationen ist Anhang 10.7.3 zu entnehmen.

Wie aus Tabelle 6-31 zu ersehen, ist sowohl die Anzahl der Situationen insgesamt als auch die Verteilung auf Ein- und Ausscherer bei beiden Varianten ähnlich, was auf vergleichbare Versuchsbedingungen zurückzuführen ist.

Tabelle 6-31: Identifizierte Ein- und Ausschersituationen

Identifizierung Ein-/ Ausscherer	Sichtbereichsversion	
	$\pm 4^\circ$	$\pm 8^\circ$
Anzahl Ein- und Ausscherer (Gesamt)	1.623	1.542
% Einscherrer/Gesamt	37,95 %	38,91 %
% Ausscherer/Gesamt	62,05 %	61,09 %

Abbildung 6-15 zeigt die Verteilung des absoluten Winkels zum Zeitpunkt der Erkennung beider Sichtbereichsvarianten im Boxplot<sup>96</sup>. Während der Unterschied der Mediane nur  $0,12^\circ$  ausmacht, ist der Unterschied der beiden oberen Quartile mit  $0,4^\circ$  deutlicher. Trotz des geringen Unterschieds der Mediane wird die Hypothese auf Gleichheit der Mediane mit dem Wilcoxon-Rangsummentest aufgrund der Stichprobengröße hochsignifikant verworfen ( $p = 0,0021$ ). Das bedeutet, dass die  $\pm 8^\circ$ -Variante Fahrzeuge örtlich signifikant früher erkennt.

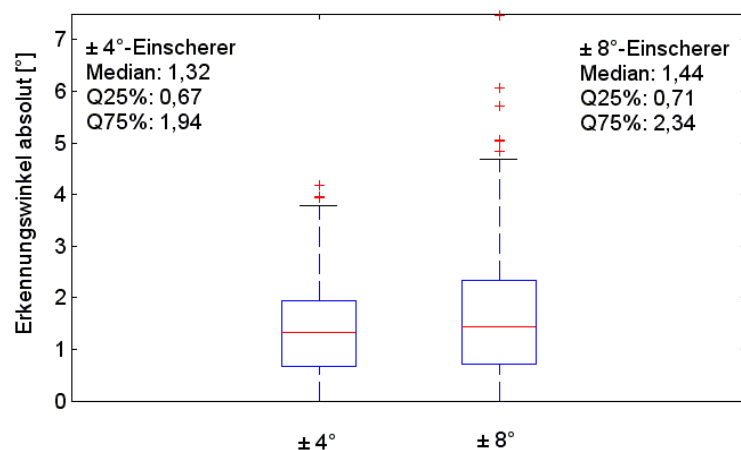


Abbildung 6-15: Absoluter Winkel [°] zum Zeitpunkt der Erkennung

<sup>96</sup> Eine Erklärung zur graphischen Darstellungsform durch Boxplot ist Anhang 10.4.3 zu entnehmen.

Eine Untersuchung von Einschersituationen im Nahbereich mit einem Längsabstand bis 20 m zum Zeitpunkt der Erkennung liefert ein noch deutlicheres Ergebnis ( $p = 3 \cdot 10^{-9}$ ). Die Mediane betragen für diese Teilmenge  $1,86^\circ$  bei der  $\pm 4^\circ$ -Version und  $3,17^\circ$  bei der  $\pm 8^\circ$ -Version.

Bei der Betrachtung des Erkennungszeitpunktes bezogen auf den notierten Einscherbeginn ist der Unterschied des Medians  $0,15$  s (Abbildung 6-16). Die Hypothese auf Gleichheit der Mediane wird auch diesmal mit dem Wilcoxon-Rangsummentest mit einem  $p$ -Wert ( $p = 0,0033$ ) verworfen. Mit der  $\pm 8^\circ$ -Variante werden damit Fahrzeuge signifikant früher als mit der  $\pm 4^\circ$ -Variante erkannt. Bei dem zeitlichen Unterschied gibt es in der Teilmenge Einschersituationen mit einem Längsabstand bis 20 m ein viel deutlicheres Ergebnis ( $p = 8 \cdot 10^{-8}$ ). Die Mediane betragen  $2,25$  s für die  $\pm 4^\circ$ -Variante und  $1,55$  s für die  $\pm 8^\circ$ -Variante. Ein Fahrzeug im Nahbereich bis 20 m wird folglich von der  $\pm 8^\circ$ -Version im Median  $0,7$  s früher erkannt als mit der  $\pm 4^\circ$ -Version.

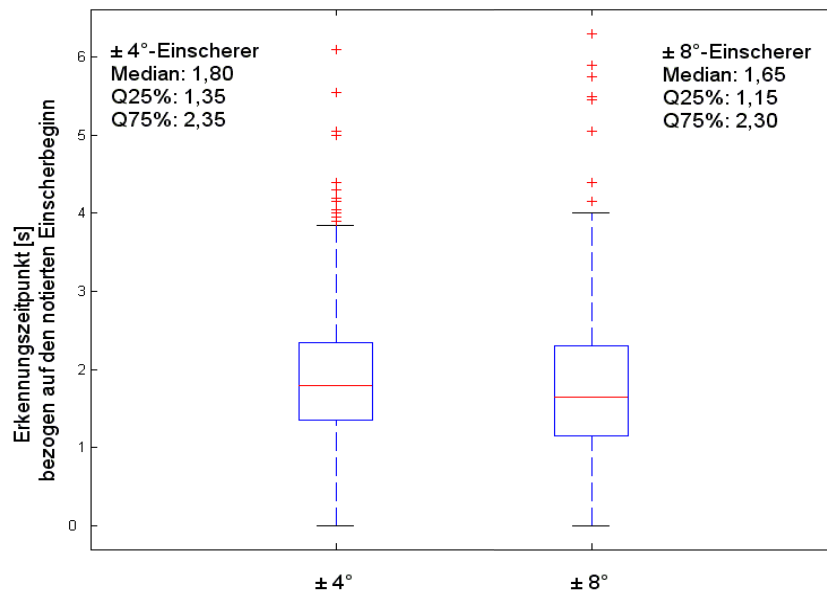


Abbildung 6-16: Erkennungszeitpunkt [s] bezogen auf den notierten Einscherbeginn

Das Histogramm aus Abbildung 6-17 zeigt, dass die  $\pm 8^\circ$ -Variante Objekte früher erfasst. Erfassungszeiten, die früher als drei Sekunden vor dem Einscherbeginn waren, wurden nicht exakt notiert, sondern lediglich als „früher als drei Sekunden“ aufgenommen und für das Histogramm sowie den Signifikanztest mit dem Wert 3 s versehen.

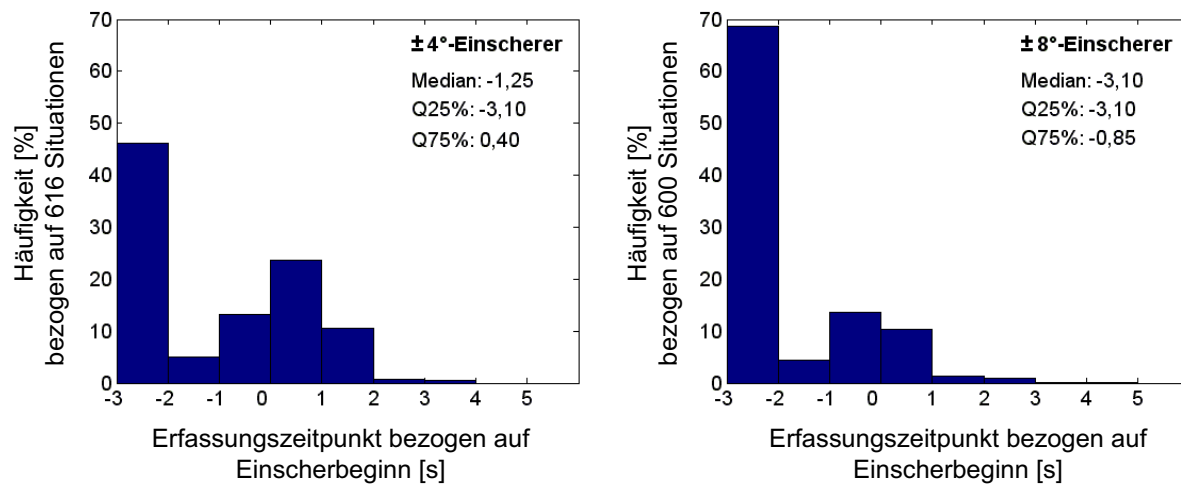


Abbildung 6-17: Erfassungszeitpunkt [s] bezogen auf den Einscherbeginn

Der Wilcoxon-Rangsummentest verwirft die Hypothese auf gleiche Lage der Verteilungen mit  $p = 0,00$ . Es sind bei dem  $\pm 8^\circ$ -Sichtbereich etwa zwei Drittel aller Einscherer bereits seit drei Sekunden oder länger erfasst, bevor sie einscheren, während es bei der  $\pm 4^\circ$ -Version nicht einmal die Hälfte sind. Unter anderem werden bei der  $\pm 4^\circ$ -Version sogar weniger als 65 % der Einscherer vor dem Einscherbeginn erfasst, während es bei  $\pm 8^\circ$ -Version ca. 90 % sind. Dieser Aspekt verbessert sich demnach um ca. 25 %. Mit einer Erweiterung des Sichtbereichs von  $\pm 8^\circ$  auf  $\pm 16^\circ$  wäre dann aber maximal eine weitere Verbesserung von ca. 10 % möglich. Dies legt die Vermutung nahe, dass eine Erweiterung des Sichtbereichs von  $\pm 8^\circ$  auf  $\pm 16^\circ$  einen geringeren Gewinn hinsichtlich des Erkennungszeitpunkts zur Folge hätte als die Erweiterung von  $\pm 4^\circ$  auf  $\pm 8^\circ$ .

Wie bereits oben erwähnt, hat die Zuordnung der Einscherobjekte „mit Erfassungszeiten größer als drei Sekunden“ zu einer festgelegten oberen Grenze von drei Sekunden Einfluss auf den durchgeführten Signifikanztest. Die Plausibilisierung von Zielobjekten ist abhängig von der Erfassungszeit eines potentiellen Objektes, d.h. je kürzer diese Zeit ist, desto später wird das Objekt, gemessen an dem tatsächlichen Einscherbeginn, als Zielobjekt erfasst. Aus diesem Grund wird zum Vergleich der Test auf Signifikanz mit den Grenzwerten von zwei Sekunden und einer Sekunde durchgeführt. Die Ergebnisse sind nach wie vor höchstsignifikant ( $p$ -Wert [2 s] =  $8 \cdot 10^{-20}$ ;  $p$ -Wert [1 s] =  $4 \cdot 10^{-19}$ ).

Eine Regressionsanalyse zur Bestimmung der Einflussparameter auf den relativen Erkennungszeitpunkt des Zielobjektes bezogen auf den Einscherbeginn wurde zusätzlich durchgeführt, um die Annahme „eine frühere Erfassung führt zu einer früheren Erkennung“ zu überprüfen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6-32 dargestellt.

Tabelle 6-32: Ergebnisse einer Regressionsanalyse für den relativen Erkennungszeitpunkt des Zielobjektes bezogen auf den Einscherbeginn

	Koeffizienten	Standardfehler	$p$ -Wert	Signifikanz
<b>EF<sub>diff</sub><sup>97</sup></b>	<b>0,0955</b>	<b>0,0178</b>	<b>1,1·10<sup>-7</sup></b>	<b>***</b>
Sichtbereichsversion $\pm 8^\circ$	-1,5489	5,1787	0,7649	
<b>Zielobjekt Längsabstand <math>TO_{d_x}</math></b>	<b>0,7704</b>	<b>0,1042</b>	<b>2,7·10<sup>-13</sup></b>	<b>***</b>
Zielobjekt Querabstand $TO_{d_y}$	-4,7053	2,5801	0,0684	
Zielobjekt Relativgeschwindigkeit $v_{rel}$	-0,6404	0,5509	0,2453	
R <sup>2</sup>	0,0622			

Die multiple Regression zeigt zwei höchstsignifikant getestete Merkmale für diese Auswahl an Regressoren. Zum einen wird höchstsignifikant die Annahme bestätigt, „eine frühere Erfassung führt zu einer früheren Erkennung“, zum anderen hat der Längsabstand einen höchstsignifikanten Einfluss. Je größer der Abstand, desto später werden die Fahrzeuge erkannt. Bei der Analyse ist zu beachten, dass Möglichkeiten der Korrelation der Regressoren untereinander bestehen können. Beispielsweise mag es auf den ersten Blick verwundern, dass der Sichtbereich anscheinend keinen signifikanten Einfluss hat. Aus den Ergebnissen der Histogramme aus Abbildung 6-17 wird geschlossen, dass der Sichtbereich mit dem relativen Erfassungszeitpunkt korreliert und deswegen nicht signifikant getestet wird. Wird jetzt eine Regressionsanalyse ohne das Merkmal der Erfassungszeit durchgeführt, so wird der Einfluss des Sichtbereichs signifikant getestet.

In Tabelle 6-33 sind alle Ergebnisse, die mit dem Wilcoxon-Rangsummentest erzielt wurden, zusammengefasst. Dort ist die Verbesserung der Erkennungszeit und des Erkennungswinkels mit der  $\pm 8^\circ$ -Variante im Nahbereich bis 20 m zu sehen. Des Weiteren fällt der kleinste  $p$ -Wert bzgl. der Erfassungszeit auf.

<sup>97</sup> EF<sub>diff</sub> = Erfassungszeit [s] – Einscherbeginn [s]



Tabelle 6-33: Zusammenfassung der Ergebnisse Einschersituationen mit dem Wilcoxon-Rangsummentest

Einschersituationen	Sichtbereichsversion		Signifikant ja=1, nein=0	
	$\pm 4^\circ$	$\pm 8^\circ$	$p$	H
Zielobjekt Längsabstand $TO_{dx}$	41,4 m	37,8 m	0,063	0
Zielobjekt Querabstand bezogen auf Fahrzeugmittellachse $TO_{dy}$ absolut	0,88 m	1 m	0,021	1
Zielobjekt Querabstand bezogen auf Fahrerschlauchmittellachse $d_{yc}$	1,13 m	1,38 m	$4,6 \cdot 10^{-5}$	1
Erkennungswinkel absolut	1,32°	1,44°	0,0021	1
Erkennungswinkel (bis 20 m)	1,86°	3,18°	$3,2 \cdot 10^{-9}$	1
Erkennungszeit	1,80 s	1,65 s	0,0033	1
Erkennungszeit (bis 20 m)	2,25 s	1,55 s	$8,1 \cdot 10^{-8}$	1
Erfassungszeit (3 s)	-1,25 s	< -3,00 s	Null	1
Erfassungszeit (2 s)	-1,25 s	< -2,00 s	$8,6 \cdot 10^{-20}$	1
Erfassungszeit (1 s)	< -1,00 s	< -1,00 s	$4,1 \cdot 10^{-19}$	1

### 6.3.3 Ausschersituation

Die Verteilungen für die beiden Varianten sind sich bis auf Ausreißer sehr ähnlich; insbesondere ist der Unterschied des Medians kleiner als bei den Einschersituationen. Die Ausreißer größer  $\pm 8^\circ$  entstanden in Situationen, in denen der Fahrer die Initiative ergriff, Gas gab und das ausscherende Fahrzeug bereits überholte, ohne dass dieses schon komplett den eigenen Fahrstreifen verlassen hatte. Dabei ergeben sich kurze, durch das Tracking bedingte, prognostizierte Längsabstände, die zu großen Demarkierungswinkeln führen. Als Verbesserungsmaßnahme zu dieser Auswertung wird das Suspend Flag (Fahrer-Gasübertritt) herangezogen, um diese Situationen herauszufiltern. Dies wird für die nachfolgenden Betrachtungen berücksichtigt.

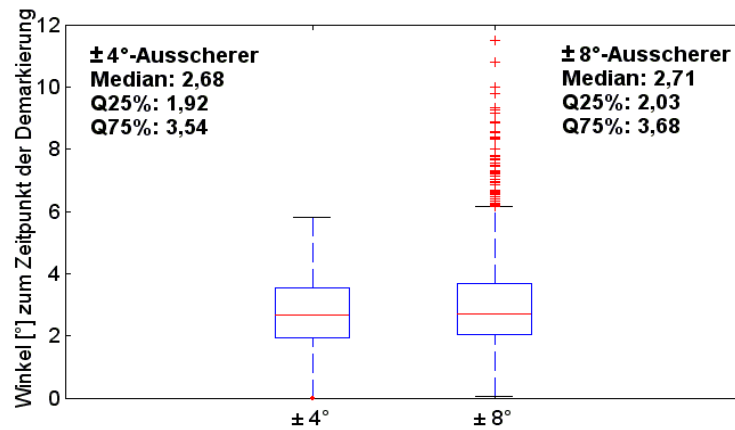


Abbildung 6-18: Winkel [°] zum Zeitpunkt der Demarkierung

Werden die Unterschiede zwischen den Sichtbereichsvarianten bzgl. der Merkmale fahrzeugbezogener Lateralabstand  $d_{yv}$  und Lateralabstand von dem prädierten Fahrstreifen  $d_{yc}$  miteinander verglichen, so fällt in beiden Fällen der Wilcoxon-Test für die Ausschersituationen im Gegensatz zu den Einschersituationen nicht signifikant aus. Des Weiteren liegen bei Ausschersituationen auch die Mediane der beiden Merkmale enger zusammen.

Beide Verteilungen bezogen sich auf den absoluten Lateralabstand zum Zeitpunkt der Demarkierung, d.h. dem Verlassen des Fahrstreifens durch das Zielobjekt, und weisen dieselben Quartile auf (Abbildung 6-19). Ein festgestellter Medianunterschied von ca. 13 cm zwischen beiden Varianten stellte sich in einem Wilcoxon-Rangsummentest als nicht signifikant ( $p = 0,27$ ) heraus.

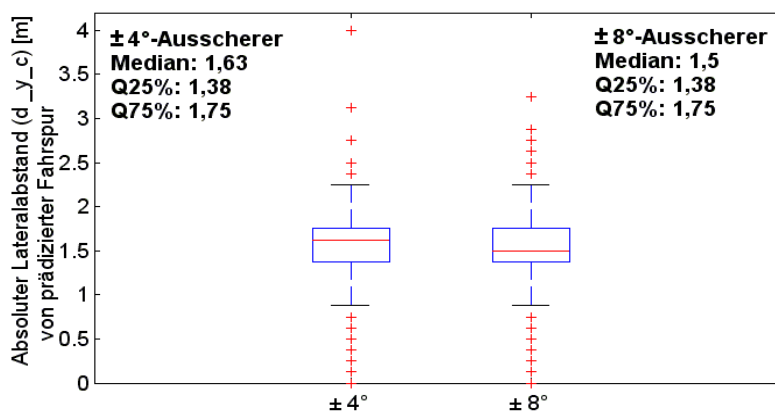


Abbildung 6-19: Absoluter Lateralabstand von prädiertem Fahrstreifen zum Zeitpunkt der Demarkierung

Eine Regressionsanalyse zur Bestimmung der Einflussparameter auf den Demarkierungszeitpunkt relativ zum Ausscherende wurde zusätzlich durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6-34 dargestellt.

Tabelle 6-34: Ergebnisse einer Regressionsanalyse für den Demarkierungszeitpunkt relativ zum Ausscherende

	Koeffizienten	Standardfehler	p-Wert	Signifikanz
Zielobjekt Relativgeschwindigkeit $v_{rel}$	0,1343	1,1545	0,9073	
<b>Zielobjekt Längsabstand <math>TO_{dx}</math></b>	<b>0,7030</b>	<b>0,1432</b>	<b><math>9,93 \cdot 10^{-7}</math></b>	<b>***</b>
<b>Zielobjekt Querabstand <math>TO_{dy}</math></b>	<b>7,3586</b>	<b>1,7338</b>	<b><math>2,298 \cdot 10^{-5}</math></b>	<b>***</b>
Sichtbereichsversion $\pm 8^\circ$	-2,5646	6,7637	0,7045	
$R^2$	0,0219			

Aus der Regressionsanalyse werden zwei höchstsignifikante Regressoren bestimmt. Der Lateralversatz ( $TO_{dy}$ ) war schon im Vorfeld mit einem positiven Koeffizienten zu erwarten. Das bedeutet, je größer der Lateralversatz zum Demarkierungszeitpunkt ist, desto später -bezogen auf das Ausscherende- wurde das Fahrzeug demarkiert. Auffallend ist, dass der Längsabstand höchstsignifikant mit einem positiven Koeffizienten eingeht. Je weiter das Zielfahrzeug entfernt ist, desto später wird es demarkiert. Für Fahrzeuge in großer Entfernung folgt aufgrund der Grenzen der Kursprädiktion eine unsichere Vorhersage, ob das Fahrzeug noch auf dem eigenen Fahrstreifen ist. Im Zweifelsfall bleibt es deshalb als Zielobjekt markiert.

Betreffend der Ausschersituationen gibt es unter Berücksichtigung der herausgenommenen Ausreißer bei der  $\pm 8^\circ$ -Version (Tabelle 6-35) keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Sichtbereichsvarianten.

Tabelle 6-35: Zusammenfassung der Ergebnisse Ausschersituation mit dem Wilcoxon-Rangsummentest

Ausschersituationen	Sichtbereichsversion		Signifikant ja=1 , nein=0	
	$\pm 4^\circ$	$\pm 8^\circ$	p	H
Zielobjekt Längsabstand ( $TO_{dx}$ )	46,38 m	45,88 m	0,618	0
Zielobjekt Querabstand bezogen auf Fahrzeugmittellachse ( $TO_{dy, absolut}$ )	2 m	2 m	0,203	0
Zielobjekt Querabstand bezogen auf Fahrschlauchmittellachse ( $d_{yc}$ )	1,63 m	1,5 m	0,360	0
Demarkierungswinkel	2,68°	2,69°	0,106	0
Demarkierungszeit (bzgl. Anfang)	1,50 s	1,50 s	0,740	0
Demarkierungszeit (bzgl. Ende)	-0,35 s	-0,40 s	0,203	0

### 6.3.4 Fahrereingriffe

Die ermittelten Fahrereingriffe wurden für die Kurvenfahrten bzw. die Einschersituationen auf der gesamten Versuchsstrecke analysiert.

#### 6.3.4.1 Fahrereingriffe bei Kurvenfahrten

In Tabelle 6-36 werden die Fahrereingriffe bezogen auf Folgefahrten in Kurven betrachtet.

Tabelle 6-36: Übersicht der Fahrereingriffe bei Folgefahrten in Kurven

Fahrereingriffe Kurvenfahrt	Sichtbereichsversion	
	$\pm 4^\circ$	$\pm 8^\circ$
Anzahl Folgefahrten	2.592	2.677
Anzahl Zielverluste	1335	442
Anzahl Fahrereingriff in Kurve mit Zielverlust	199	81
Fahrereingriff bei Zielverlust / Zielverlust	14,91 %	18,33 %
Anzahl Fahrereingriff in Kurve ohne Zielverlust	32	41
Fahrereingriff in Kurve ohne Zielverlust / (Fahrereingriff - Zielverlust)	2,55 %	1,83 %
Anzahl Gesamt-Fahrereingriffe über alle Folgefahrten	231	122
Fahrereingriff / Folgefahrten	8,91 %	4,56 %

Bei der  $\pm 4^\circ$ -Version kommt es bei einer nahezu gleichen Anzahl an Folgefahrten zu mehr als doppelt so vielen Fahrereingriffen in Kurven mit Zielverlusten, was einen höchstsignifikanten Unterschied bezogen auf die  $\pm 8^\circ$ -Version darstellt. Dies liegt sowohl an der höheren Anzahl an Zielverlusten als auch am dokumentierten Vertrauen der Probanden in das System. Führen die Probanden die  $\pm 4^\circ$ -Version, so war häufig ein „ängstlicheres“ Verhalten vom Versuchsbegleiter beobachtbar, da sie dem System nach eigenen Angaben eine Wiedererkennung des Zielfahrzeugs nicht zutrauten. Insgesamt ist das Verhältnis der Fahrereingriffe in Kurven, in denen es zu einem Zielverlust kam, bezogen auf die Anzahl an Zielverlusten mit 14,9 % für die  $\pm 4^\circ$ -Version und 18,3 % für die  $\pm 8^\circ$ -Version, als gering einzuschätzen. Dies hängt mit der Tatsache zusammen, dass ein Zielverlust nicht zwangsläufig zum Eingreifen verleitet. Dies liegt an der, vor allem bei Kurven mit kleinen Radien, einsetzenden „Blindflugregelung“<sup>98,99</sup>. Diese hält die Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Gierrate und dem Lenkradwinkel trotz verlorenen Zielfahrzeugs konstant oder verhindert ein abruptes Beschleunigen. Somit treten die oben genannten Effekte, die zur Erkennung eines Zielverlusts durch den Fahrer füh-

<sup>98</sup> Robert Bosch: Sicherheits- und Komfortsysteme, 2004, S. 191f

<sup>99</sup> Randler, Wilhelm, Lucas: Anforderung an die Umwelthypothese der Umfeldsensorik, 2003, S. 42f

ren, nicht auf. Oder anders ausgedrückt: Zu über 80 % erfüllte in diesen Versuchen die „Blindflugregelung“ ihre Aufgabe mit Erfolg. Der höhere prozentuale Wert der  $\pm 8^\circ$ -Version lässt sich durch das vermehrte Auftreten der Zielverluste bei kleineren Kurvenradien erklären.

Aus der auf die Gesamtheit aller Folgefahrten bezogenen Anzahl an Fahrereingriffen mit 8,9 % für die  $\pm 4^\circ$ -Version zu 4,6 % für die  $\pm 8^\circ$ -Version lässt sich ableiten, dass mit der  $\pm 4^\circ$ -Version ein Fahrereingriff bei jeder 11. Kurve erfolgte, während es bei der  $\pm 8^\circ$ -Version nur bei jeder 22. Kurve der Fall war. Demgegenüber steht das Verhältnis von 3:1 bezogen auf die Anzahl an Zielverlusten.

Zur Untersuchung der Abhängigkeit der Anzahl der Fahrereingriffe in Kurven mit Zielverlust und des Sichtbereichs wird ein  $\chi^2$ -Test auf Unabhängigkeit angewandt. Mit einem  $p$ -Wert von 0,102 kann die Unabhängigkeit der beiden Parameter, Sichtbereich und Anzahl der Fahrereingriffe nicht widerlegt werden. Zu einem deutlich anderen Ergebnis führt die Untersuchung auf Unabhängigkeit des Sichtbereichs und der Anzahl an Fahrereingriffen über alle Folgefahrten. Der  $p$ -Wert von 0,000 führt dazu, dass die Hypothese „Anzahl der Fahrereingriffe ist vom Sichtbereich unabhängig“ eindeutig verworfen werden kann. Somit kommt es in Kurven, die mit der  $\pm 8^\circ$ -Version gefahren werden, zu signifikant weniger Fahrereingriffen als bei Fahrten mit der  $\pm 4^\circ$ -Version.

In Tabelle 6-37 werden die Fahrereingriffe bei Annäherungsfahrten in Kurven betrachtet.

*Tabelle 6-37: Übersicht der Fahrereingriffe bei Annäherungsfahrten in Kurven*

Fahrereingriffe bei Annäherungsfahrt	Sichtbereichsversion	
	$\pm 4^\circ$	$\pm 8^\circ$
Anzahl Annäherungsfahrten	55	92
Anzahl Fahrereingriffe	8	6
% Fahrereingriffe / Annäherungsfahrten	14,55 %	6,52 %

Bei allen Annäherungsfahrten der  $\pm 4^\circ$ - und der  $\pm 8^\circ$ -Version wurde das Zielfahrzeug vom ACC-System erfasst und auch rechtzeitig erkannt, dennoch kam es, wie aus Tabelle 6-37 ersichtlich, zu Fahrereingriffen. Die relative Zahl an Fahrereingriffen ist im Vergleich zu den Fahrereingriffen bei Folgefahrten höher und zwar mit 14,55 % für die  $\pm 4^\circ$ - und 6,52 % für die  $\pm 8^\circ$ -Version. Die Probanden trauten dem System in manchen Situationen eine Annäherung nicht zu. Dies liegt möglicherweise auch an den im Vergleich zur Folgefahrt mit Zielverlust höheren Relativgeschwindigkeiten oder dem Überraschungseffekt auf ein Fahrzeug in Kurven zu treffen. Die Unterschiede in der Anzahl der Fahrereingriffe bei Annäherungsfahrten zwischen den beiden Versionen werden durch das Verkehrsgeschehen erklärt: bei derart selten auftretenden Situationen ist eine große Streuung nicht unwahrscheinlich.

Mit dem durch einen  $\chi^2$ -Test ermittelten  $p$ -Wert von 0,189 kann die Hypothese auf Unabhängigkeit der Anzahl der Fahrereingriffe und des Sichtbereichs bei Annäherungsfahrten in Kurven nicht verworfen werden.

### 6.3.4.2 Fahrereingriffe bei Einschersituationen

Wird die reine Anzahl an Fahrereingriffen bei Einschersituationen betrachtet, so kann die Hypothese auf Unabhängigkeit der Eingriffe von der Sichtbereichsvariante mit dem  $\chi^2$ -Unabhängigkeitstest nicht verworfen werden ( $p = 0,66$ ).

Tabelle 6-38: Übersicht der Fahrereingriffe bei Einschersituationen

Fahrereingriff Einschersituationen	Sichtbereichsversion	
	$\pm 4^\circ$	$\pm 8^\circ$
Anzahl Einschersituationen	616	600
Anzahl Fahrereingriffe	61	54
Fahrereingriffe / Einschersituationen	9,9 %	9,0 %
Fahrereingriffe bei Einschersituation von rechts	56	46
Fahrereingriffe bei Einschersituation von rechts / Fahrereingriffe	91,8 %	85,2 %
Eingriff vor Erkennung	36	27
Eingriff vor Erkennung / Fahrereingriffe	59,0 %	50,0 %
Gas Übertreten im Moment der Erkennung	2	4
Übernahmeaufforderung vor Eingriff	13	15

Durch den erweiterten Sichtbereich von  $\pm 4^\circ$  auf  $\pm 8^\circ$  nimmt die Anzahl der Fahrereingriffe nicht signifikant ab.

Tabelle 6-39: Zusammenfassung der Ergebnisse Fahrereingriffe bei Einschersituationen

Fahrereingriffe Einschersituation	Sichtbereichsversion		Signifikant ja=1 , nein=0	
	$\pm 4^\circ$	$\pm 8^\circ$	$p$	H
Anzahl Fahrereingriffe	61	54	0,66	0
Erkennungszeit (Median)	1,95 s	1,7 s	0,088	0
Erkennungswinkel (Median)	<b>1,32°</b>	<b>2,36°</b>	<b>0,0002</b>	<b>1</b>
Wunschzeitlücke (Median)	<b>1,25 s</b>	<b>1,0 s</b>	<b>0,0194</b>	<b>1</b>

Wird die Menge der Fahrereingriffe hinsichtlich eines Unterschiedes bzgl. Erkennungszeit und Erkennungswinkel untersucht (Tabelle 6-39), so wird ein höchstsignifikanter Medianunterschied des absoluten Winkels festgestellt ( $p = 1,5 \cdot 10^{-4}$ ). Aufgrund des  $p$ -Wertes ( $p = 0,088$ ) kann keine Aussage bzgl. des Erkennungszeitpunktes getroffen werden. Folglich erkennt die  $\pm 8^\circ$ -Variante für die Teilmenge der Fahrereingriffe einscherende Fahrzeuge zu einem signifikant größeren Winkel als die  $\pm 4^\circ$ -Variante. Der daraus entstehende zeitliche Unterschied ist

für eine Signifikanzaussage jedoch zu gering. Die  $\pm 8^\circ$ -Variante erkennt einscherende Fahrzeuge zeitlich knapp nicht signifikant früher als die  $\pm 4^\circ$ -Variante.

Ein Test auf Verteilung der Zeitlücke ergab ein signifikant unterschiedliches Ergebnis ( $p = 0,0177$ ). In den Situationen mit Fahrereingriff nach Erkennung ist demnach bei der  $\pm 8^\circ$ -Variante die Zeitlücke zum einscherenden Fahrzeug signifikant kleiner als bei der  $\pm 4^\circ$ -Variante. Die Überprüfung des Merkmals Wunschzeitlücke für die Fahrereingriffssituation erwies sich als signifikant unterschiedlich ( $p = 0,0195$ ; Median ( $\pm 4^\circ$ -Variante) = 1,25 s, Median ( $\pm 8^\circ$ -Variante) = 1,0 s).

## 6.3.5 Fazit

### 6.3.5.1 Kurvenabschnitt

Den größten Anteil an den Kurvenfahrten bilden die Folgefahrten, die nach Zielverlusten und Wiedererkennung der Zielfahrzeuge näher untersucht wurden. Ein höchstsignifikanter Unterschied kann bei der Anzahl der Zielverluste zwischen beiden Sichtbereichen ermittelt werden. Bei der detaillierten Betrachtung der Zielverluste können signifikante und meist sogar höchstsignifikante Unterschiede zu Gunsten der  $\pm 8^\circ$ -Version bei der Untersuchung der Merkmale Lateralabstand, Verlustzeitpunkt ab Kurvenbeginn, Verlustwinkel, Verlustradius, mittlerer Radius mit und ohne Zielverlust, Relativgeschwindigkeit und Beschleunigungsverhalten zwei Sekunden nach Zielverlust festgestellt werden. Eine Analyse des Längsabstandes zum Zielverlustzeitpunkt bei Folgefahrten ergab, dass mit der  $\pm 4^\circ$ -Version durchgängig die Zielobjekte bei einem kleineren Abstand als bei  $\pm 8^\circ$ -Version verloren werden. Bei Fahrten mit der  $\pm 8^\circ$ -Version findet demnach der Zielverlust zu einem signifikant späteren Zeitpunkt statt. Keine signifikanten Unterschiede sind hingegen für den Längsabstand und das Verhalten eine Sekunde nach dem Zielverlust erkennbar. Die befahrbaren Kurvenradien, bei denen es zu keinem Zielverlust kommt, sind bei der  $\pm 8^\circ$ -Version wie erwartet deutlich kleiner als die der  $\pm 4^\circ$ -Version. Ein Indiz für eine Kurventauglichkeitsaussage wird aus der Analyse der Folgefahrten abgeleitet, bei denen sich die Anzahl der Situationen „mit“ und „ohne Zielverlust“ die Waage halten. Für die  $\pm 8^\circ$ -Version wird ein Krümmungswert von  $0,007 \text{ m}^{-1}$  (ca. 140 m Radius) bzw. für die  $\pm 4^\circ$ -Version  $0,0025 \text{ m}^{-1}$  (ca. 400 m Radius) ermittelt. Bei der Betrachtung der Zeit, die nach einem Zielverlust bis zur Wiedererkennung vergeht, konnte die Erwartung an die  $\pm 8^\circ$ -Version der früheren Wiedererkennung nicht signifikant bestätigt werden. Ebenso gibt es bei den Merkmalen bezogen auf die Wiedererkennung mit Ausnahme des Längsabstands keine signifikanten Unterschiede.

Für die Analyse der Annäherungsfahrten kann bis auf den Erkennungswinkel kein signifikanter Unterschied bei der Erfassung der Zielobjekte festgestellt werden (vgl. Ergebnisse Anhang 10.6.1). Die Verbesserungen bzgl. der Objekterfassung und -erkennung lassen sich nur als Tendenzen interpretieren.

### 6.3.5.2 Einschersituationen

Vorausfahrende Fahrzeuge werden mit der  $\pm 8^\circ$ -Variante aufgrund eines größeren absoluten horizontalen Winkelbetrags bzw. eines früheren Erfassungszeitpunktes bezogen auf den notierten Einscherbeginn örtlich signifikant früher erfasst. Dieses Ergebnis fällt für laterale Abstände bis 20 m im Vergleich der beiden Versionen noch deutlicher zugunsten der  $\pm 8^\circ$ -Variante aus. Ein Fahrzeug im Nahbereich bis 20 m wird von der  $\pm 8^\circ$ -Version im Median 0,7 s früher erfasst als mit der  $\pm 4^\circ$ -Version. Insgesamt werden bei der  $\pm 4^\circ$ -Version weniger als 65 % der Einscherer vor dem Einscherbeginn erfasst, während es bei  $\pm 8^\circ$ -Version ca. 90 % sind. Es wird höchstsignifikant die Annahme bestätigt: „Eine frühere Erfassung führt zu einer früheren Erkennung“.

Bei der detaillierten Betrachtung der Einschersituationen können signifikante und meist sogar höchstsignifikante Unterschiede zu Gunsten der  $\pm 8^\circ$ -Version bei der Untersuchung der Merkmale Lateralabstand, Erkennungswinkel, Erkennungszeit und Erfassungszeit festgestellt werden. Keine Aussage kann bzgl. des Längsabstands getroffen werden.

### 6.3.5.3 Ausschersituationen

Ausscherende Fahrzeuge werden mit der  $\pm 8^\circ$ -Version tendenziell örtlich länger als Zielobjekt gehalten bzw. erst bei einem größeren Winkel im Vergleich zur  $\pm 4^\circ$ -Version demarkiert. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die festgestellten trackingbedingten Ausreißer der  $\pm 8^\circ$ -Version für den Test herausgenommen werden, ist der Unterschied jedoch nicht signifikant.

### 6.3.5.4 Fahrereingriffe

Es kommt bei Folgefahrten in Kurven, die mit der  $\pm 8^\circ$ -Version gefahren werden, zu signifikant weniger Fahrereingriffen als bei Fahrten mit der  $\pm 4^\circ$ -Version. Die insgesamt niedrige Anzahl an Fahrereingriffen mit 8,9 % bei der  $\pm 4^\circ$ -Version zu 4,6 % bei der  $\pm 8^\circ$ -Version bezogen auf die Gesamtheit aller Folgefahrten in Kurven hängt mit der Tatsache zusammen, dass ein Zielverlust oftmals nicht zum Eingreifen verleitet. Bei Kurven mit kleinen Radien zeigen die Ergebnisse, dass die „Blindflugregelung“ weniger gut den Eingriff des Fahrers vermeidet. Im Vergleich zu den Folgefahrten kann bei Annäherungsfahrten wegen der geringen Zahl der Ereignisse keine Aussage auf Signifikanzniveau getroffen werden, auch wenn hier eine Tendenz zu weniger Fahrereingriffen bei der  $\pm 8^\circ$ -Version zu beobachten ist.

Bei der Betrachtung der Anzahl der Fahrereingriffe bei Einschersituationen ist durch den erweiterten Sichtbereich von  $\pm 4^\circ$  auf  $\pm 8^\circ$  keine signifikante Abnahme zu beobachten. Jedoch erkennt die  $\pm 8^\circ$ -Variante im Vergleich zur  $\pm 4^\circ$ -Variante für diese Teilmenge einscherende Fahrzeuge zu einem signifikant größeren Winkel mit einer signifikant kleineren Zeitlücke.



## 6.4 Funktionsstörungen

Unter Funktionsstörungen werden in diesem Bericht das Erkennen von Nebenspurfahrzeugen, das Nichtmarkieren von potentiellen Zielfahrzeugen, Zielverluste auf gerader Strecke, das Erfassen von Geisterzielen sowie von stehenden Objekten verstanden.

Die Auswertung der Mess- und Videodaten hat ergeben, dass die am häufigsten aufgetretene Funktionsstörung das Erkennen von Nebenspurfahrzeugen ist. Die absoluten Häufigkeiten der Falscherkennungen sind in Abbildung 6-20 dargestellt.

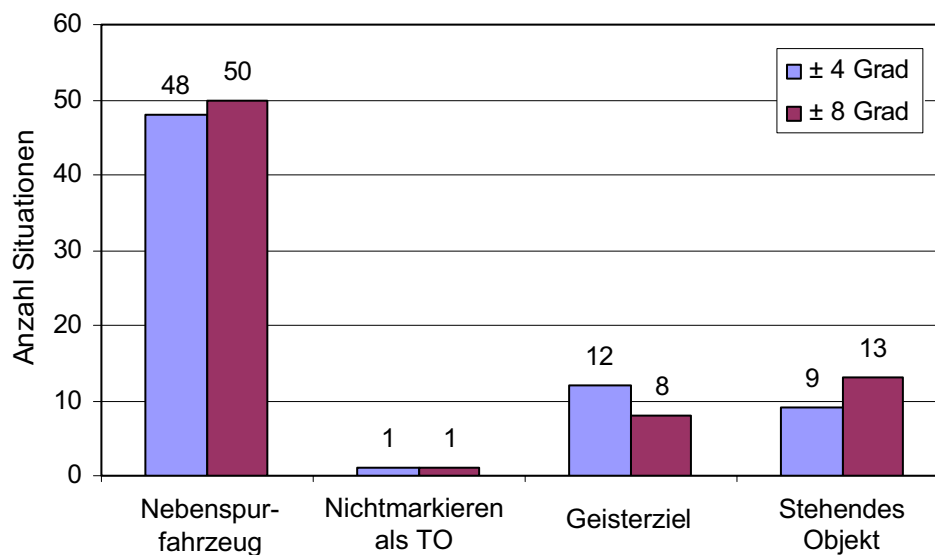


Abbildung 6-20: Aufgetretene Funktionsstörungen

Aus der Anzahl der aufgetretenen Situationen im direkten Vergleich wird entnommen, dass kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Versionen aufgetreten ist. Die Hypothese, dass es aufgrund einer Erweiterung des horizontalen Sichtbereichs nicht zu mehr Funktionsstörungen kommt, wird demnach nicht verworfen. Insgesamt wurden während der Versuchreihe für die  $\pm 4^\circ$ -Version 70 Funktionsstörungen und für die  $\pm 8^\circ$ -Version 80 Störungen festgestellt. Dies bedeutet bei einer Gesamtkilometerzahl von 6.000 km bzw. ca. 75 Stunden pro Variante, dass bei der  $\pm 4^\circ$ -Version 1,2 Störungen pro gefahrene 100 Kilometer und bei der  $\pm 8^\circ$ -Version 1,3 Störungen pro gefahrene 100 Kilometer auftraten. Während der Versuchsfahrten ist bei beiden Versionen demnach in einer Stunde durchschnittlich eine Funktionsstörung aufgetreten.

Neben der in Abbildung 6-20 dargestellten messtechnischen Analyse erfolgte eine Auswertung des Subjektivurteils der Probanden bzgl. der am häufigsten aufgetretenen Funktionsstörung. Die Probanden wurden befragt, inwiefern das System aus Ihrer Sicht „nicht oder nicht nachvollziehbar“ bei einer Erkennung eines Nebenspurfahrzeugs reagiert hat. Diese Fragestellung wurde von den Probanden direkt nach der jeweiligen Versuchsfahrt beantwortet. Die Antworten sind in Abbildung 6-21 dargestellt.

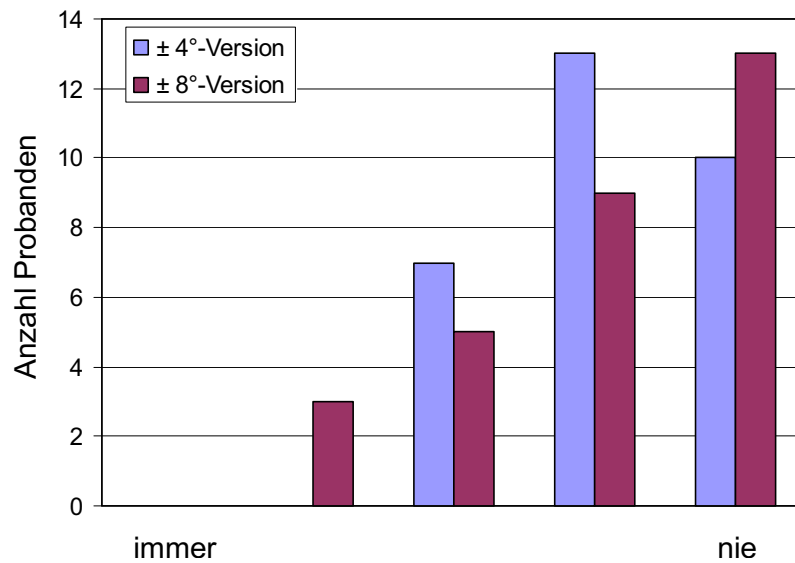


Abbildung 6-21: Nachvollziehbarkeit der Probanden auf die Systemreaktion bei der Erkennung von Nebenspurfahrzeugen

Bei beiden Sichtbereichsversionen ist die Reaktion des Systems während der Erkennung eines Nebenspurfahrzeugs fast immer als nicht nachvollziehbar beurteilt worden.

Die Befragung der Probanden, inwieweit sie nicht nachvollziehbare Reaktionen als störend empfunden haben, ergab das in der nachfolgenden Abbildung erzielte Ergebnis. Mehrheitlich wurden derartige Situationen von den Probanden als störend angesehen. Es konnte kein signifikanter Unterschied bei der Beurteilung zwischen beiden Varianten festgestellt werden (Anhang 10.6.5).

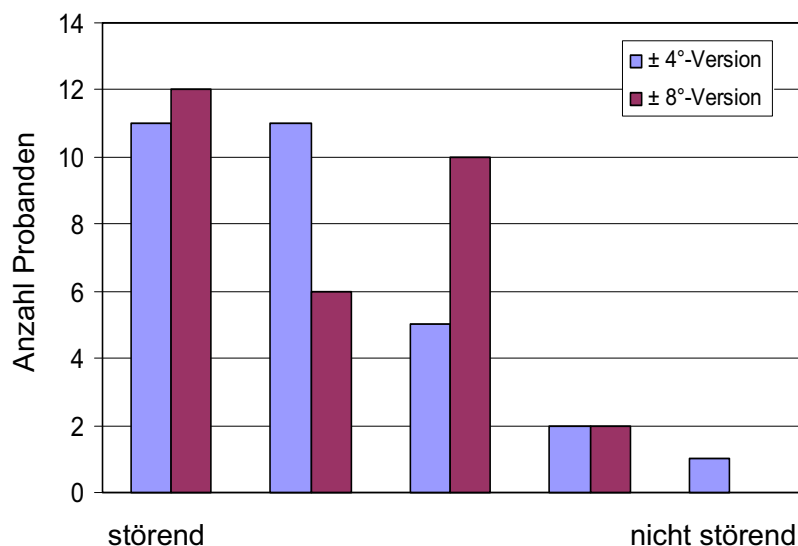


Abbildung 6-22: Empfinden der Probanden bezüglich einer nicht nachvollziehbaren Reaktion

### 6.4.1.1 Zielverluste

In diesem Abschnitt wird separat die Untersuchung der Zielverluste dargestellt. Die Probandenbefragung bezog sich in Frage C5 auf das Empfinden der Zielverluste auf gerader Strecke.

		Wie haben Sie die <b>Anzahl der Zielverluste auf gerader Strecke</b> empfunden?					
C5	Variante A	häufig	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	selten
	Variante B	häufig	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	selten

Tabelle 6-40: Ergebnisse Probandenbefragung zu Frage C5 (Anzahl Zielverluste auf gerader Strecke, Gesamtkollektiv)

C5	Median	1 (häufig)	2	3	4	5 (selten)
$\pm 4^\circ$	4	0	1	7	12	10
$\pm 8^\circ$	4	0	0	6	12	12
Differenz	-	0	+	D <sup>0</sup>	p- Wert	H
$\pm 8^\circ - \pm 4^\circ$	2	23	5	25	0,999	0

Die Auswertung zeigt, dass die Probanden keinen signifikanten Unterschied bei der Anzahl der Zielverluste auf gerader Strecke zwischen den beiden Varianten feststellen können. Ebenso verhält es sich bei den objektiven Messdaten: Die Anzahl der Zielverluste bei Autofahrt auf gerader Strecke beträgt bei der  $\pm 4^\circ$ -Version 46 bezogen auf insgesamt 2.229 untersuchte Situationen und bei der  $\pm 8^\circ$ -Version 61 bezogen auf insgesamt 1.993 Situationen.

## 6.5 Fahrschlauch

Das Ziel dieser Untersuchung war es, den bestmöglichen Fahrschlauch zu finden, der zum einen die Anzahl von fälschlicherweise als Zielobjekt erkannter Objekte auf dem Nachbarfahrstreifen (d.h. Störungen) minimiert und gleichzeitig möglichst viele Zielobjekte auf dem eigenen Fahrstreifen (d.h. Nutzen) in den vorkommenden Situationen erfasst. In einer separaten Versuchsreihe sind auf der in der Abbildung 5-2 beschriebenen Versuchsstrecke Untersuchungen zum Einfluss der Fahrschlauchbreite auf das Nutzen-/ Störverhältnis durchgeführt worden.

Es wurden sowohl Versuche mit einem standardmäßig eingestellten Fahrschlauch als auch Versuche mit einer auf acht Meter Gesamtbreite gesetzten Fahrschlauchkontur durchgeführt. Zur Auswertung wurde die Zahl der Falscherkennungen der Zahl der richtigen Erkennungen durch eine Videoanalyse gegenübergestellt, um als ersten Richtwert die Folgen der Fahrschlauchaufweitung einzuschätzen<sup>100</sup>. Die dargestellten Diagramme beziehen sich zunächst auf die Auswertung der Gesamtstrecke. Es werden zusätzlich die Ergebnisse für die Teilkategorien kurvenarme Landstraße, kurvenreiche Landstraße, zweistreifige Autobahn/ Kraftfahrstraße und drei- bis fünfstreifige Autobahn (Abbildung 5-2) angegeben.

Tabelle 6-41: Übersicht Fahrzeiten Fahrschlauchuntersuchung mit 8 m Fahrschlauchbreite

	gesamte Fahrzeit	gesamte Fahrzeit	durchschnittliche Fahrzeit pro Streckenabschnitt	Summe „Richtig Erkennungen“	Summe „Falsch Erkennungen“ <sup>101</sup>
	[s]	[h:m:s]	[h:m:s]	[s]	[s]
Kategorie 1: kurvenarme Landstraße	10.720	2:58:40	0:35:44	7.137	249
Kategorie 2: kurvenreiche Landstraße	5.642	1:34:02	0:18:48	2.346	33
Kategorie 3: zweistreifige Autobahn	16.366	4:32:46	0:54:33	8.334	3.103
Kategorie 4: drei- bis fünfstreifige Autobahn	6.665	1:51:05	0:22:13	2.853	2.853
Gesamtstrecke	39.393	10:56:33	2:11:19	20.671	6.237

<sup>100</sup> Der verwendete Fahrzeitzähler für die Situationsidentifizierung basiert auf einer Abtastrate im Sekundentakt.

<sup>101</sup> Falscherkennungen auf einer einstreifigen kurvenarmen Landstraße entstehen beispielsweise durch Reflexionen am Straßenrandbereich, die sich in einem Rauschen äußern und zu einer Objektplausibilisierung führen. Ein weiteres Beispiel sind überholende Motorradfahrer.

### 6.5.1.1 Verteilung und Häufigkeiten der Erkennungen

Als Ergebnis der Fahrversuche ergibt sich für jede Zielobjekterkennung der Lateralabstand  $d_{yv}$  und der Longitudinalabstand  $d_x$ . Durch eine Sortierung der Zielobjekterkennungen in Abhängigkeit der Abstände ergeben sich in dem jeweiligen Signalfeld Häufigkeiten, die als Grundlage für die Darstellung dienen. Das Signalfeld ist bei der durchgeführten Untersuchung 0,125 m breit, was der Auflösung des Systems in lateraler Richtung entspricht und fünf Meter lang. Die Zielobjekterkennungen werden in der diskreten Darstellung (Abbildung 6-23 links) als Häufigkeiten relativ zu der Messzeit angegeben. Es handelt sich dabei um diskrete Punkte mit den zugeordneten Prozentwerten. Die Summe der Werte ergibt die relative Summe der Zielobjekterkennungen. Die Verbindungslinie stellt den Verlauf der Verteilung von Zielobjekterkennungen dar.

Das nächste Diagramm (Abbildung 6-23 rechts) zeigt den gleichen Verlauf. Hier werden allerdings die relativen Werte im Signalfeld durch die Signalfeldbreite (0,125 m) geteilt. Es ergibt sich daraus eine mittlere Dichte oder Intensität der Erkennungen. Das Diagramm kann im Gegensatz zu dem vorangegangenen Diagramm kontinuierlich gelesen werden und die relative Summe der Zielobjekterkennungen entspricht dem Integral des Diagramms.

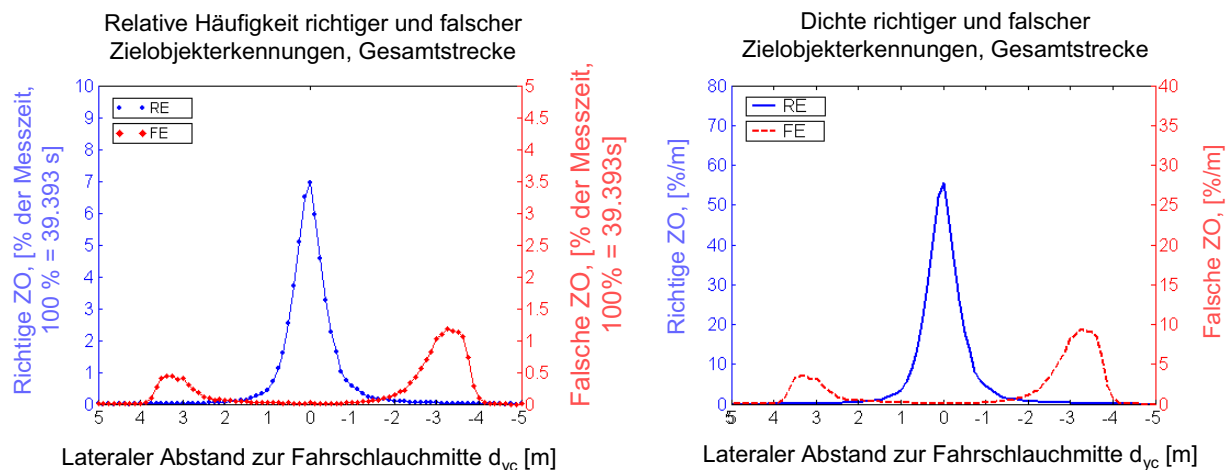


Abbildung 6-23: Relative Häufigkeit der Zielobjekterkennungen, diskrete Darstellung (links), Dichte der Zielobjekterkennungen (rechts), Gesamtstrecke (RE: richtig erkannte, FE: falsch erkannte Zielobjekte)

Die Unterschiede zwischen den Kurvenverläufen der unterschiedlichen Kategorien liegen im Wesentlichen bei den Maxima der Kurven und der Abweichung von der Fahrschlauchmitte, also bei dem Anteil und der Verteilung der Häufigkeit der Richtigerkennungen an der Messzeit (Abbildung 6-24). Bei den beiden Landstraßenkategorien nimmt die Häufigkeit der Falscherkennungen ab einer Fahrschlauchbreite von  $\pm 1$  m überproportional zu, wobei die absolute Häufigkeit gering ist. Die Zunahme der Falscherkennungen ist bei den beiden Autobahnkategorien unsymmetrisch, d.h. ab einer Breite von 2 m bzw. -1,5 m erfolgt ein nahezu exponentieller Anstieg.

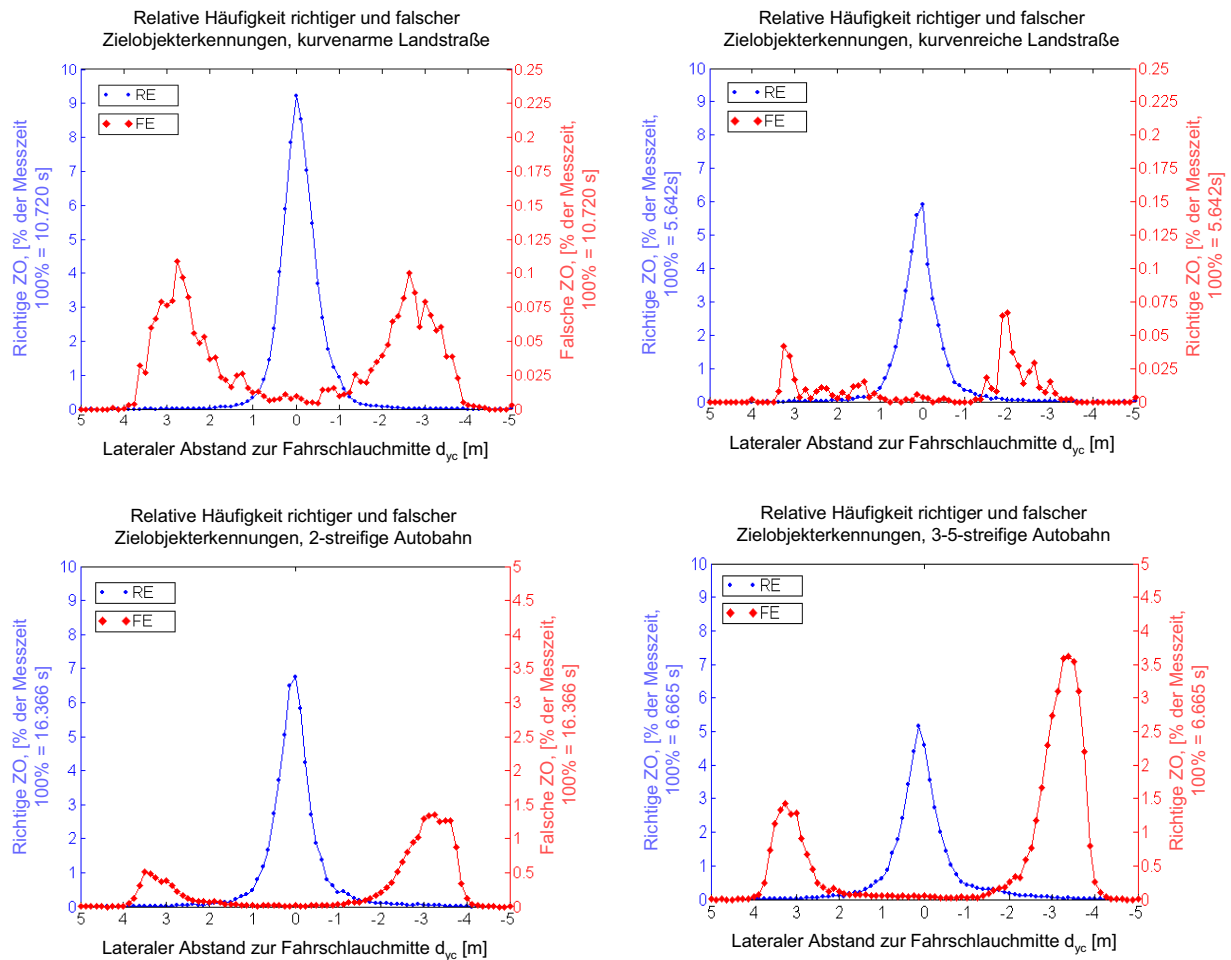


Abbildung 6-24: Relative Häufigkeit der Zielobjekterkennungen, diskrete Darstellung, Teilkategorien (RE: richtig erkannte, FE: falsch erkannte Zielobjekte)

In der folgenden Tabelle wird eine Übersicht über die prozentualen Anteile der Falsch- bzw. Richtigerkennungen bezogen auf die Gesamtfahrzeit gegeben.

Es ist festzustellen, dass der Anteil der Falscherkennungen im Verhältnis zu den Richtigerkennungen bei den beiden Landstraßenabschnitten deutlich geringer ist als bei den beiden Autobahnabschnitten. Aus diesem Grund ist die Wahl eines breiteren Fahrschlauches für diese Streckenkategorien im Vergleich zu den Autobahnabschnitten, besonders bei der drei- bis fünfstreifigen Autobahn, hinsichtlich der zu erwartenden Nebenspurstörungen denkbar.

Tabelle 6-42: Übersicht prozentuale Anteile der Erkennungen zur Gesamtfahrzeit

Anteile bezogen auf die Gesamtfahrzeit	Anteil der Richtigerkennungen	Anteil der Falscherkennungen	Gesamtanteil der Erkennungen
	[%]	[%]	[%]
Kategorie 1: kurvenarme Landstraße	66,6	2,3	68,9
Kategorie 2: kurvenreiche Landstraße	41,6	0,6	42,2
Kategorie 3: zweistreifige Autobahn	50,9	19,0	69,9
Kategorie 4: drei- bis fünfstreifige Autobahn	42,8	42,8	85,6
Gesamtstrecke	52,5	15,8	68,3

In Tabelle 6-43 wird die Verteilung der Falscherkennungen bzgl. der Fahrschlauchmittelachse dargestellt. In der Kategorie „kurvenarme Landstraße“ wurde eine nahezu gleiche Verteilung der Falscherkennungen bezogen auf die beiden Seiten der Fahrschlauchmittelachse festgestellt. Bei allen anderen drei Kategorien ist die Verteilung rechtslastig, d.h. es erfolgen mehr Falscherkennungen rechts der Fahrschlauchmittelachse.

Tabelle 6-43: Verteilung der Falscherkennungen bezüglich der Fahrschlauchmittelachse

Verteilung Falscherkennungen		
	links [%]	rechts [%]
Kategorie 1: kurvenarme Landstraße	49,9	50,2
Kategorie 2: kurvenreiche Landstraße	39,2	60,8
Kategorie 3: zweistreifige Autobahn	22,4	77,6
Kategorie 4: drei- bis fünfstreifige Autobahn	26,5	73,5
Gesamtstrecke	25,4	74,6

Ein Unterschied bei den analysierten Streckenabschnitten besteht darin, dass es auf den Autobahnen zu mehr Falscherkennungen kommt. Der Hauptgrund liegt darin, dass über die gesamte Messzeit Parallelverkehr auf den Fahrstreifen herrschte, d.h. es kam zu Überholmanövern und die auf den Nachbarfahrstreifen fahrenden Fahrzeuge wurden als Zielobjekt erfasst. Weil in Deutschland ein Rechtsfahrgebot existiert und auf Autobahnen viele Lastwagen mit einer niedrigeren Geschwindigkeit fahren als Personenkraftwagen, fanden mehr Überholmanöver durch das ACC-Fahrzeug statt als Überholmanöver von anderen Fahrzeugen an dem Versuchsfahrzeug. Aus dieser Tatsache resultiert, dass sich rechts der Fahrschlauchmittelachse mehr Falscherkennungen als links wiederfinden.

Aus Tabelle 10-37 (Anhang 10.8) ist zu entnehmen, dass mehrheitlich die Richtigerkennungen symmetrisch um die Fahrschlauchmittelachse liegen. Die Maxima der Richtigerkennungen befinden sich fast alle auf der Fahrschlauchmittelachse, nur auf der drei- bis fünfstreifigen Autobahn liegt das Maximum links versetzt davon. Der um die Fahrschlauchmittelachse symmetrische Bereich, der 95 % der Richtigerkennungen beinhaltet, ist auf den Landstraßen mit 2,5 m (d.h.  $\pm 1,25$  m) bis 2,75 m schmäler als auf den Autobahnen mit 3,25 m bis 4,0 m.

### 6.5.1.2 Kumulierte Häufigkeiten der Erkennungen

Um die fahrsituationsabhängig beste Fahrschlauchbreite zu finden, wird die zeitliche Häufigkeit des lateralen Abstandes des Zielobjektes und der Nichtzielobjekte zur Fahrschlauchmitte ( $d_{yc}$ ) in einer kumulierten Darstellung aufgetragen (Abbildung 6-25), d.h. zu welchem Prozentsatz der jeweiligen Objektklasse der Lateralabstand zur Fahrschlauchmitte (gleich prädiiziertem Kurs) kleiner ist als der Abszissenwert.

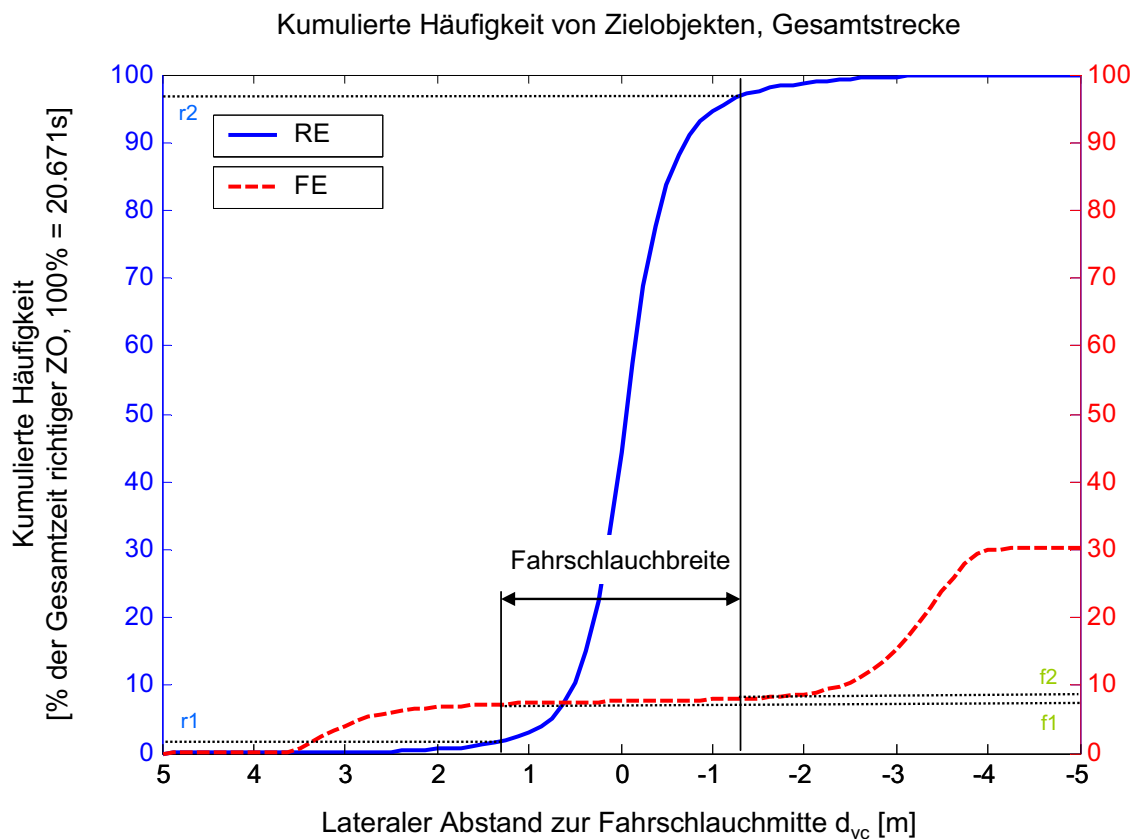


Abbildung 6-25: Kumulierte Häufigkeit von Zielobjekten, Gesamtstrecke (RE: richtig erkannte, FE: falsch erkannte Zielobjekte)

In der kumulierten Darstellung der Gesamtstrecke gibt es einen Bereich, in dem die blau durchgezogene Kurve der richtigen Erkennungen ein ausgeprägtes Plateau besitzt und die rot gestrichelte Kurve der Falscherkennungen um wenige Prozentpunkte ansteigt. Dieser Bereich



kann, wie beispielhaft dargestellt, von den beiden senkrechten, gestrichelten Linien eingegrenzt werden.

Bei einer angenommenen Fahrschlauchbreite von 2,5 m, d.h. zwischen -1,25 m und 1,25 m, liegen 94,63 % der richtigen Zielobjekte in diesem Bereich. Gleichzeitig treten weniger als 2,3 % der falschen Zielobjekte in diesem Bereich auf und die Kurve hat eine Steigung von 3,1 %.

Über alle Teilkategorien, d.h. Autobahn und Landstraße hinweg, zeigte sich ein vergleichbares Bild der kumulierten Darstellung, mit ausgeprägter Steigung der richtigen Zielobjekt-Kurve und einer geringen Steigung der falschen Zielobjekt-Kurve im Bereich von -1 m bis 1 m (Abbildung 6-26).

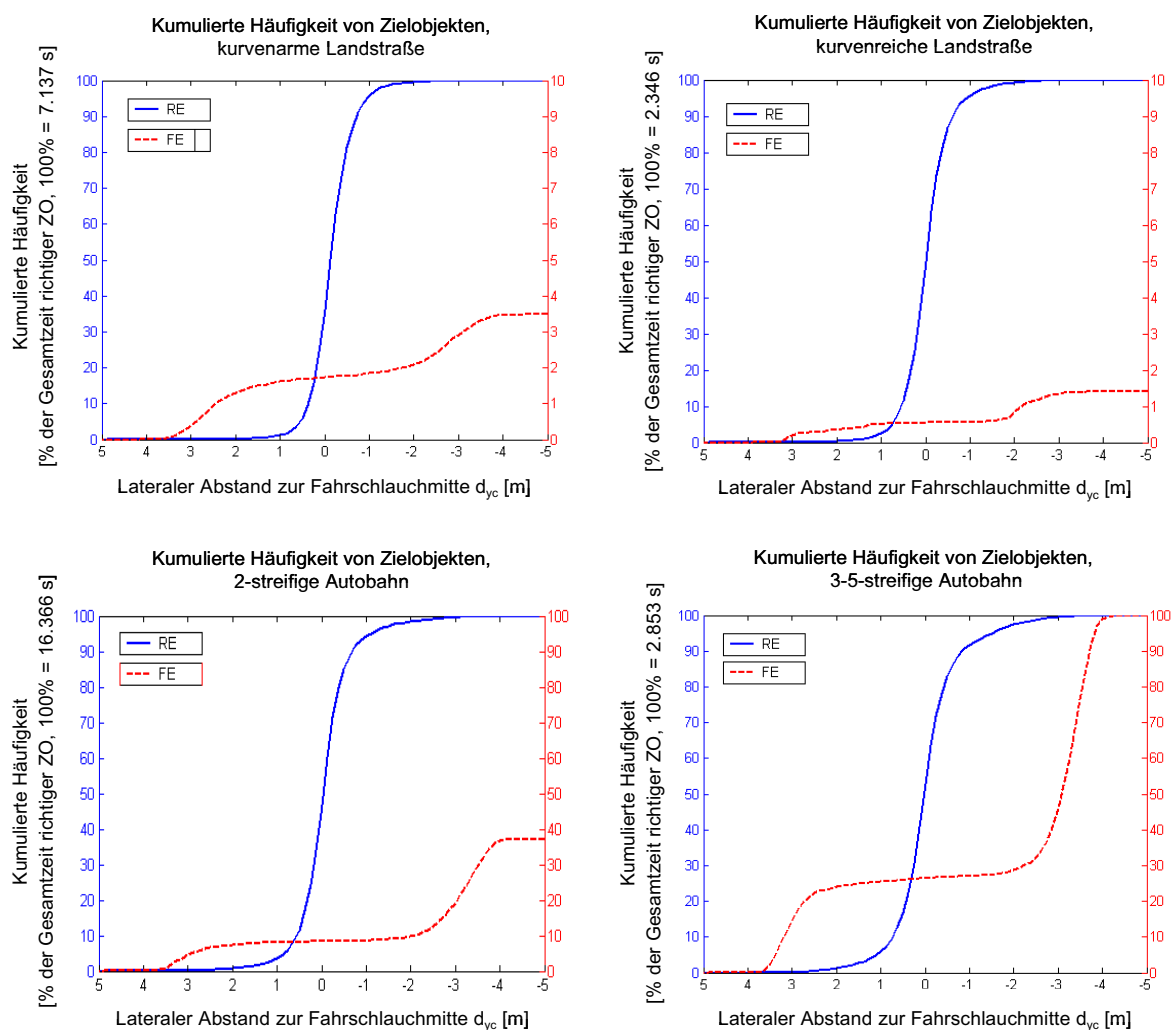


Abbildung 6-26: Kumulierte Häufigkeit von Zielobjekten, Teilkategorien (RE: richtig erkannte, FE: falsch erkannte Zielobjekte)

In dieser Form der Darstellung lässt sich der Anteil der richtigen und der falschen Erfassungen in Abhängigkeit von der Fahrschlauchbreite übersichtlicher erkennen als bei Histogrammen in Balkendarstellung aufgrund der Unabhängigkeit von der Balkenbreite. Daraus lässt

sich ablesen, wie viele Störungen pro nicht erfasste Objekte in Abhängigkeit der Fahr- schlauchbreite vorkommen.

### 6.5.1.3 Kostenfunktion

Der obere Schnittpunkt der Fahr- schlauchbreite mit der Kurve der Erkennungen aus *Abbildung 6-25* bildet bei den richtigen Zielobjekten  $r_2$ , bei den falschen  $f_2$ , der untere Schnittpunkt bildet entsprechend  $r_1$  und  $f_1$ . Hieraus lässt sich eine Kostenfunktion in Abhängigkeit von der Fahr- schlauchbreite erstellen:

$$K = \frac{(R - r_2) + r_1 + k_{falsch} (f_2 - f_1)}{R} \quad (6.1)$$

$R$  steht in der Formel (6.1) für die Gesamtmenge der richtigen Erkennungen und  $k_{falsch}$  für den Einfluss der falschen Zielerkennungen, d.h.  $k_{falsch}$  stellt einen Gewichtungsfaktor dar. Dieser berücksichtigt, dass sich eine Falscherfassung von Objekten ungleich störender auswirkt als eine Nicht-Erfassung. Ein  $k_{falsch}$  von 10 bedeutet, dass eine Sekunde falsch erkannte Zielobjekte zehnmal stärker gewichtet wird als eine Sekunde nicht erkannte richtige Zielobjekte, also wie zehn Sekunden nicht erkannte richtige Zielobjekte. Die beste Fahr- schlauchbreite bedeutet hier die Fahr- schlauchbreite mit den niedrigsten Kosten, d.h. mit dem am wenigsten unerwünschten Verhalten.

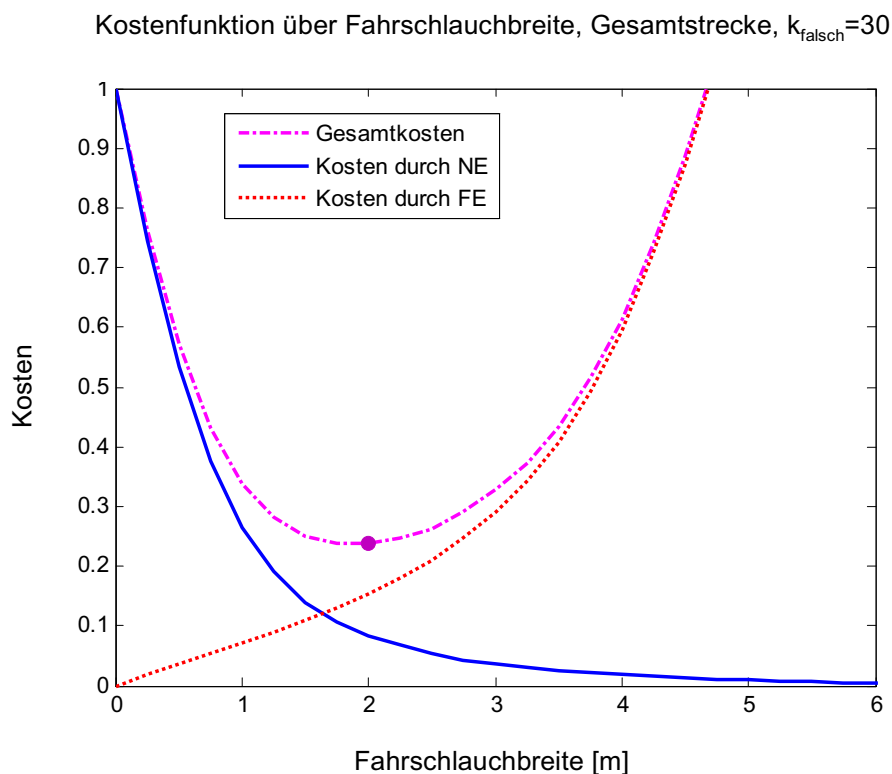


Abbildung 6-27: Zusammensetzung der Kostenfunktion

Die optimale Fahrschlauchbreite wird durch das Minimum der Kostenfunktion definiert. Kosten verursachen einerseits die richtigen Erkennungen im acht Meter breiten Fahrschlauch, die in einem schmaleren Fahrschlauch außerhalb von diesem liegen, also zu nicht erkannten Zielobjekten werden (in Abbildung 6-27 die blaue, durchgehende Linie), und andererseits die falschen Erkennungen, die sich innerhalb des Fahrschlauchs befinden (rote, gepunktete Linie).

Im Kostenfunktions-Diagramm (Abbildung 6-28) zeigen Punkte die jeweiligen Minimalwerte und damit die optimale Fahrschlauchbreite an.

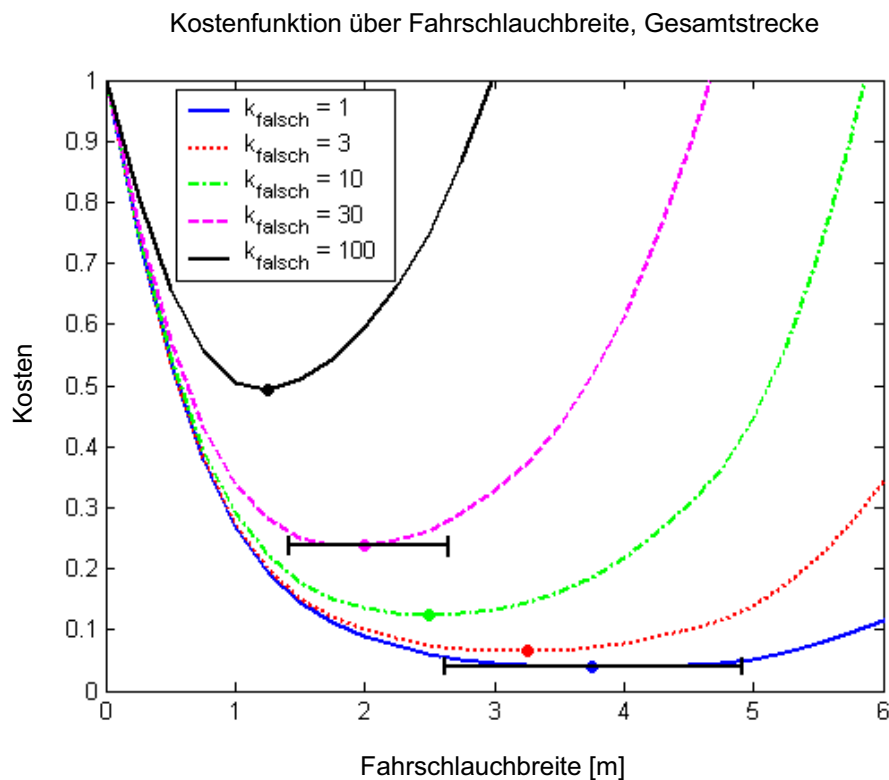


Abbildung 6-28: Kostenfunktion der Gesamtstrecke

Außerdem wurden bei zwei Diagrammen der Kostenfunktion für  $k_{falsch} = 1$  und  $k_{falsch} = 30$  die Fehlerbereiche der Fahrschlauchbreiten eingezeichnet (horizontale Fehlerbalken), an deren Schnittpunkt für beide Kostenfunktionen eine gemeinsame optimale Fahrschlauchbreite existiert. Das bedeutet für Fahrschlauchbreiten, die zwischen den Werten für  $k_{falsch} = 1$  und  $k_{falsch} = 30$  liegen, deckt der Fahrschlauchwert an diesem Schnittpunkt alle optimalen Fahrschlauchbreiten mit dem eingezeichneten Fehler ab, die mit Gewichtungsfaktoren, die kleiner als dreißig und größer oder gleich eins sind, berechnet werden (Tabelle 6-44).

Tabelle 6-44: Übersicht optimale Fahrschlauchbreiten für  $k_{falsch} = 1$  und  $k_{falsch} = 30$ 

	Optimale Fahrschlauchbreite			$k_{falsch} = 1$		$k_{falsch} = 30$	
	$k_{falsch} = 1$	$k_{falsch} = 30$	Fehlerbereich	Min	Max	Min	Max
Kategorie 1: kurvenarme Landstraße	4	2,25	28,0 %	2,9	5,1	1,6	2,9
Kategorie 2: kurvenreiche Landstraße	5,75	2,5	39,4 %	3,5	8,0	1,5	3,5
Kategorie 3: zweistreifige Autobahn	3,75	2	30,4 %	2,6	4,9	1,4	2,6
Kategorie 4: drei- bis fünfstreifige Autobahn	3,75	1,25	50,0 %	1,9	5,6	0,6	1,9
Gesamtstrecke	3,75	2	30,4 %	2,6	4,9	1,4	2,6

Aus den einzelnen Kostendiagrammen der Teilkategorien (Abbildung 6-29) wird entnommen, dass im Vergleich zu den anderen Teilkategorien für die kurvenreiche Landstraße das absolut gesehen niedrigste Kostenniveau existiert. Es steigt ausgehend von der kurvenreichen Landstraße in der Reihenfolge kurvenarme Landstraße, zweistreifige Autobahn und schließlich drei- bis fünfstreifige Autobahn an. Die absoluten Werte der optimalen Fahrschlauchbreiten sinken bezogen auf den größten Wert bei dem Abschnitt der kurvenreichen Landstraße dabei entsprechend der genannten Reihenfolge.

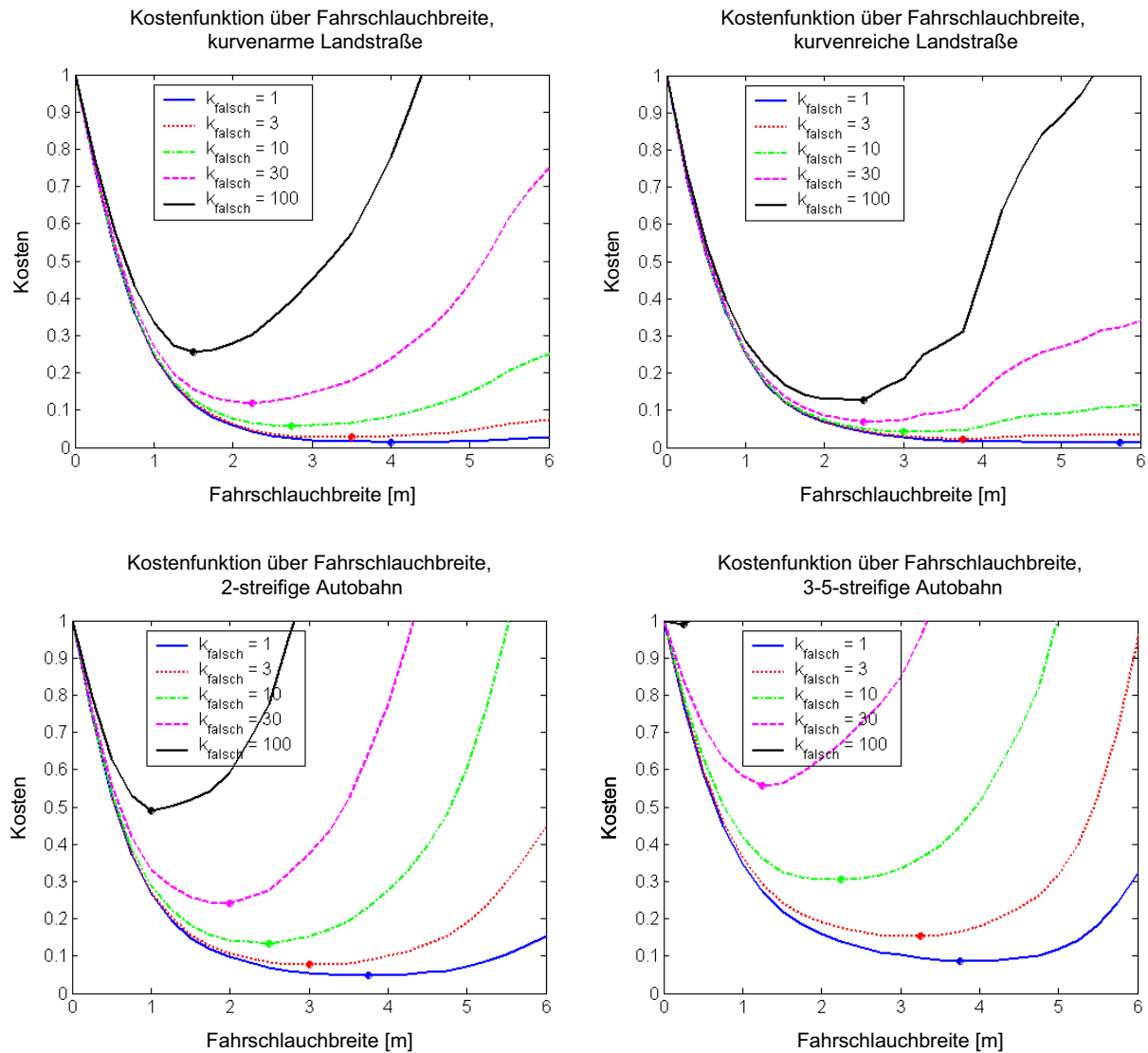


Abbildung 6-29: Kostenfunktion der Teilkategorien

#### 6.5.1.4 Optimale Fahrerschlauchbreiten

Im folgenden Diagramm werden die optimalen Fahrerschlauchbreiten in Abhängigkeit des gewählten Gewichtungsfaktors dargestellt. Die Markierungen im Diagramm stellen die Minimalwerte der Kostenfunktion für bestimmte Gewichtungsfaktoren  $k_{falsch}$  dar. Die zusätzlich markierten farbigen fünf Punkte sind die Minimalwerte der Kurven der Kostenfunktion aus Abbildung 6-28. Ein Kompromiss zwischen Falscherfassungen und Nichterkennen von Zielobjekten entspricht einer Fahrerschlauchbreite von zwei Metern. Zu dieser optimalen Fahrerschlauchbreite kommt es bei einem  $k_{falsch}$  zwischen 20 und 30. Das bedeutet, eine Sekunde falsch erkannte Zielobjekte wird gewichtet wie 20 bzw. 30 Sekunden nicht erfasste richtige Zielobjekte. Die dargestellten Werte beziehen sich auf die durchgeführte Untersuchung mit 39.393 s Gesamtfahrzeit, 20.671 s richtige Erkennungen und 6.236 s falsche Erkennungen. Bei einem Wert von  $k_{falsch} = 30$  und einer Fahrerschlauchbreite von zwei Metern bedeutet dies

für die durchgeführte Versuchsreihe pro Stunde Fahrzeit 2,5 s falsch erkannte Zielobjekte und 75 s nicht erkannte richtige Zielobjekte.

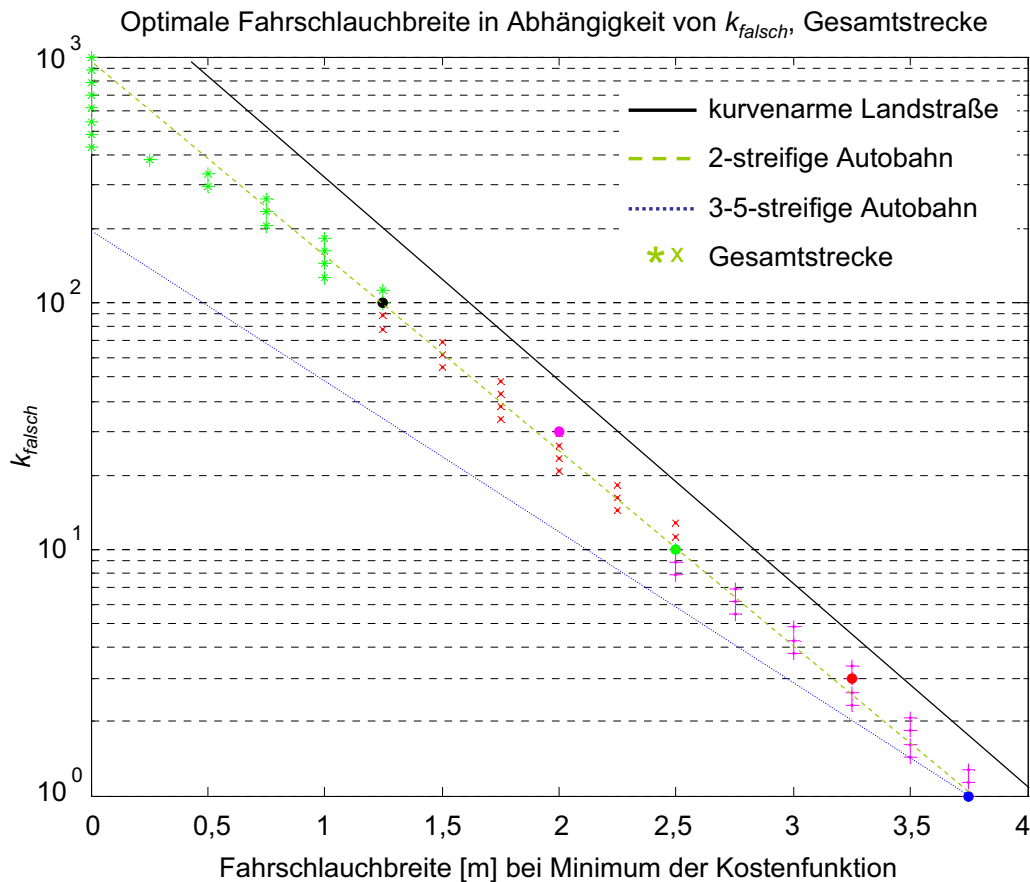


Abbildung 6-30: Optimale Fahrschlauchbreite in Abhängigkeit des Gewichtungsfaktors

Werden die eingezeichneten Ausgleichsgeraden für die drei Teilkategorien betrachtet, so ist festzuhalten, dass sich die Ergebnisse der optimalen Fahrschlauchbreiten für die zweistreifige Autobahn und der Gesamtstrecke nahezu entsprechen. Im Vergleich dazu nehmen die Kosten bei der drei- bis fünfstreifigen Autobahn bezogen auf die definierte Fahrschlauchbreite der Gesamtstrecke zu, währenddessen sie bei der kurvenarmen Landstraße abnehmen.

Die nachfolgende Tabelle stellt für die Werte von  $k_{falsch} = 1$  bis 100 für alle Teilkategorien die festgestellten optimalen Fahrschlauchbreiten dar.

Tabelle 6-45: Übersicht optimale Fahrstreifbreiten (Gesamtstrecke, alle Teilbereiche)

$K_{falsch}$	1	3	10	30	100
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
Kategorie 1: kurvenarme Landstraße	4	3,5	2,75	2,25	1,5
Kategorie 2: kurvenreiche Landstraße	5,75	3,75	3	2,5	2,5
Kategorie 3: zweistreifige Autobahn	3,75	3	2,5	2	1
Kategorie 4: drei- bis fünfstreifige Autobahn	3,75	3,25	2,25	1,25	0,25
Gesamtstrecke	3,75	3,25	2,5	2	1,25

### 6.5.1.5 2,5D und 3D-Diagramme der Dichten von Zielobjekterkennungen

In diesen Diagrammen sind die Dichten der Zielobjekterkennungen in Abhängigkeit des lateralen und longitudinalen Abstandes dargestellt. Die Dichte hat das Format „%/m<sup>2</sup>“, da die Zielobjekterkennungen in Abhängigkeit von  $d_{yc}$  und  $d_x$  summiert und durch die Fläche des Signalfeldes geteilt werden.

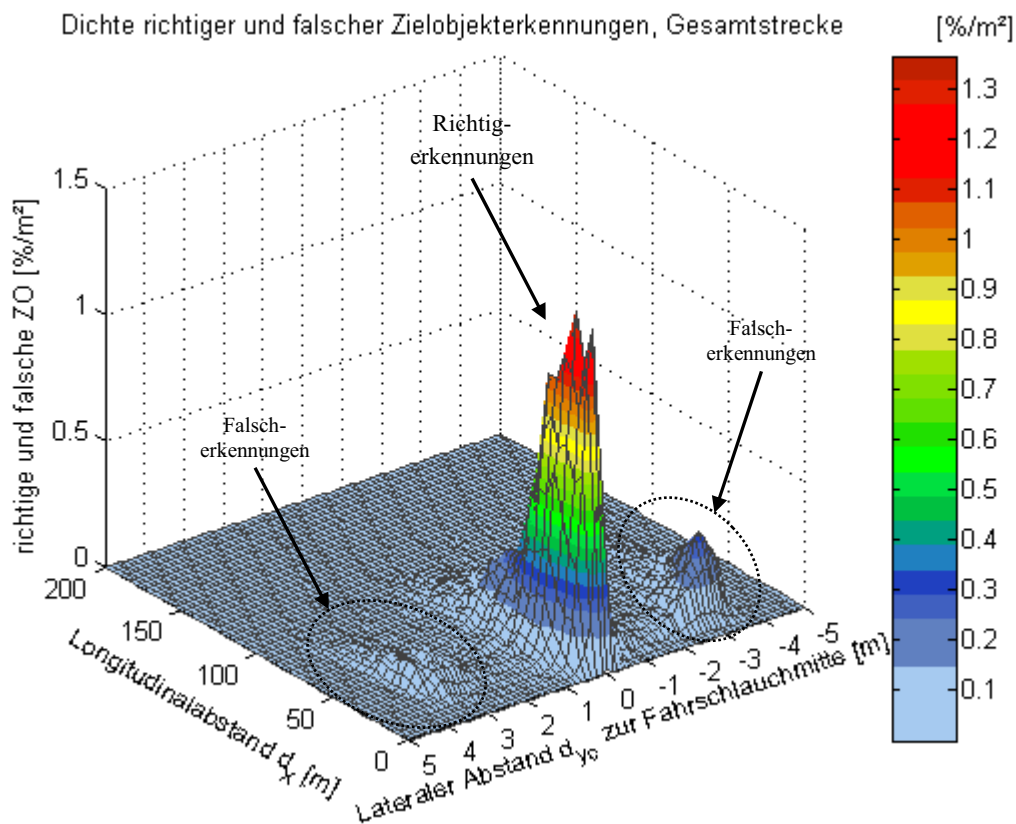


Abbildung 6-31: Dichte der Zielobjekterkennungen, Gesamtstrecke

In dem 3D-Diagramm aus Abbildung 6-31 sind die Richtig- und Falscherkennungen zusammengefasst. Die Richtigerkennungen der Objekte konzentrieren sich auf einen lateralen Bereich von  $\pm 1$  m und auf einen Longitudinalabstand bis 100 m. Die Falscherkennungen befinden sich im Bereich von  $\pm 2$  bis  $\pm 4$  m und treten rechts der Fahrschlauchmitte häufiger auf als links.

Um die Richtig- und Falscherkennungen auf Ihre Verteilung und Dichte untersuchen zu können, werden diese in den folgenden 2,5D-Diagrammen getrennt voneinander dargestellt. Dort sind zusätzlich die Sichtbereiche der ACC-Systeme mit einem Radar-Öffnungswinkel von  $\pm 4^\circ$  bzw.  $\pm 8^\circ$  angezeigt, um die Lage der Objekterkennung in Bezug auf die Sichtbereiche abzuschätzen. Bei allen über der Fahrschlauchmittelachse aufgetragenen Diagrammen dienen die eingezeichneten Sichtbereiche nur zur Orientierung, weil nur bei Geradeausfahrt die Fahrschlauchmittelachse gleich der Fahrzeugmittelachse ist und nur in diesem Fall die eingezeichneten Radarsichtbereichsgrenzen zur Beurteilung herangezogen werden können.

Bei einer konstant angenommenen Fahrschlauchbreite von zwei Metern (d.h.  $\pm 1$  m) werden in Abbildung 6-32 für die Gesamtstrecke nahezu alle für die sich links von der Fahrschlauchmittelachse (positive Fahrschlauchwerte) befindlichen Zielobjekte erkannt. Geringfügig anders sieht es für den Bereich rechts von der Fahrschlauchmittelachse aus (negative Fahrschlauchwerte): Dort befindet sich im Vergleich zur anderen Seite eine etwas größere Menge an gewünschten Zielobjekten, die mit einer Breite von zwei Metern nicht erfasst werden.

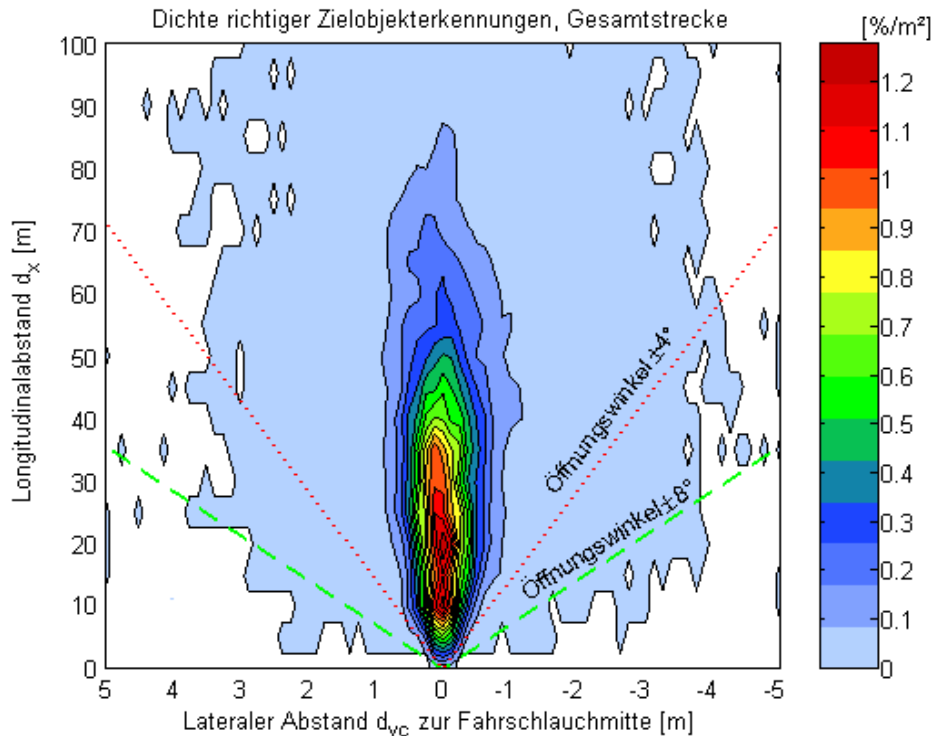


Abbildung 6-32: Dichte der richtigen Zielobjekte in Abhängigkeit von  $d_{yc}$  und  $d_x$ , Gesamtstrecke



Diese auftretenden Ziele sind jedoch, wie aus der Legende abzulesen, absolut gesehen selten, so dass eine Fahrschlauchbreite von  $\pm 2$  m als Wunschfahrschlauchbreite für alle richtig erkannten Zielobjekte angesehen wird und das Arbeiten mit einer einheitlichen Fahrschlauchbreite aus Sicht der richtig erkannten Zielobjekte als gerechtfertigt erscheint. Auch wenn das Zielobjekt nur kurz den Bereich des  $\pm 4^\circ$ -Öffnungswinkels verlässt (was sich im obigen Diagramm kaum bemerkbar macht), wird es vom ACC-Regler nicht mehr als Zielobjekt verwendet. Bei einem Zielverlust sinkt die Plausibilität, so dass der Plausibilitätswert bei wieder vorhandenem Ziel niedriger ist als bei einem konstant vorhandenen.

Werden die Ergebnisse mit den vier einzelnen Teilkategorien verglichen, so ist festzuhalten, dass auch hier bei einer konstant angenommenen Fahrschlauchbreite von 2 m (d.h.  $\pm 1$  m) nahezu alle sich darin befindlichen Zielobjekte erfasst werden (Abbildung 6-33). Auf den beiden Landstraßenabschnitten werden tendenziell die Zielobjekte in einem geringeren longitudinalen Abstand erkannt als bei den Autobahnabschnitten. Dies steht in Verbindung mit den durchschnittlich niedrigeren Fahrgeschwindigkeiten und den daraus resultierend niedrigeren Abständen auf Landstraßen. Werden die Dichten der Zielobjekterkennungen bezogen auf die maximalen Abstände betrachtet, so ist in den Diagrammen die Geschwindigkeitsabhängigkeit des Fahrschlauchs zu erkennen: Angefangen von der kurvenreichen Landstraße mit der geringsten maximalen Reichweite (ca. 60 m) steigern sich die Werte der Dichten in der Reihenfolge kurvenarme Landstraße (ca. 70 m), zweistreifige Autobahn (ca. 95 m) bis hin zu dem größten Wert bei drei- bis fünfstreifigen Autobahnabschnitten ( $> 100$  m). Bemerkenswert ist bei der letzten Kategorie, dass es im Vergleich zu den anderen Kategorien zwei Dichtemaxima gibt: Diese sind bei knapp unterhalb von 40 m und 70 m, ca. 20 cm links versetzt der Fahrschlauchmitte anzutreffen. Die Ursache liegt in den beiden großen Streckenteilbereichen „Fahren ohne Geschwindigkeitsbeschränkung“ und „Fahren mit Geschwindigkeitsbeschränkung“ mit den sich daraus ergebenden Abständen aufgrund der eingestellten Zeitlücke.

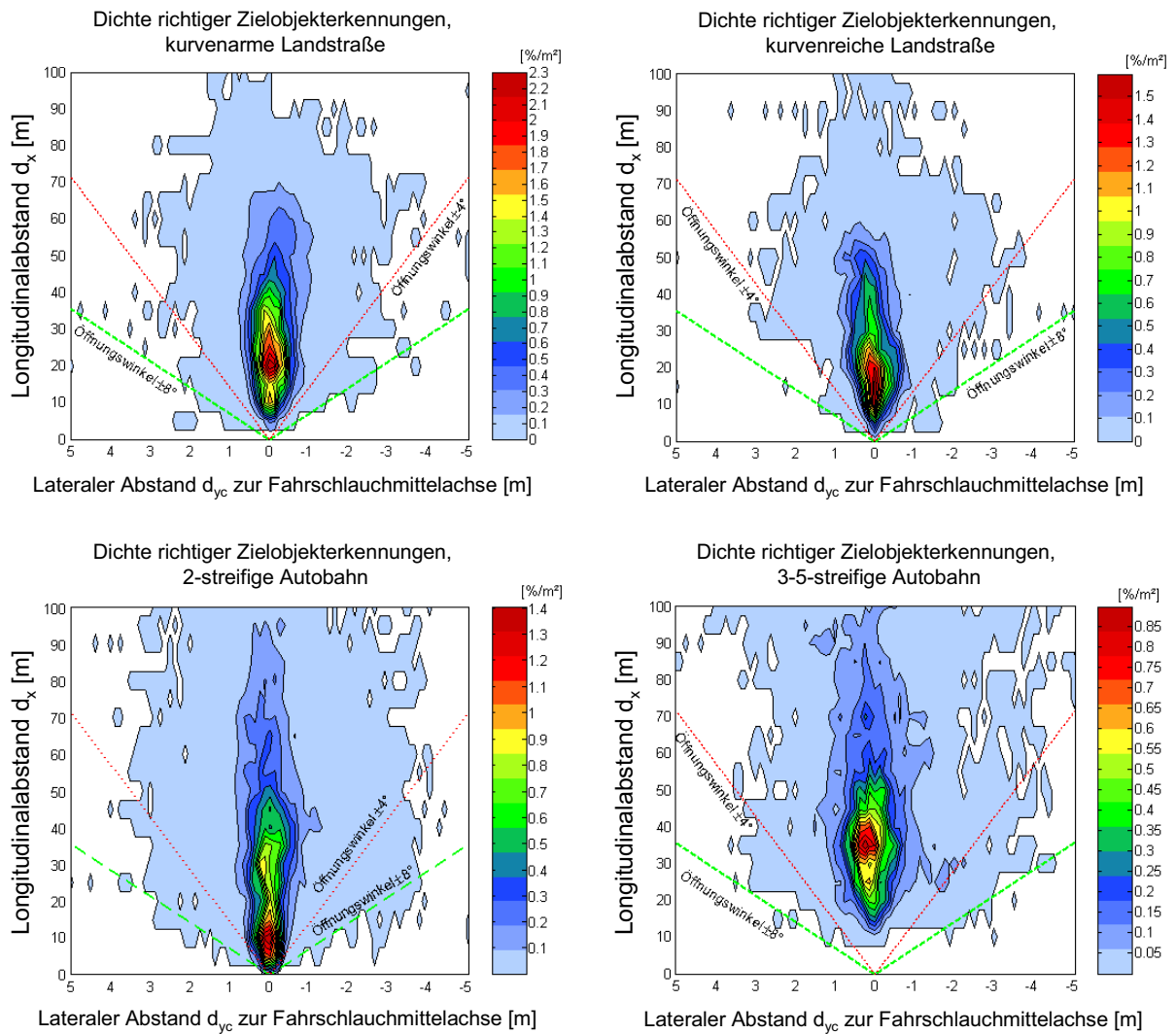


Abbildung 6-33: Dichte der richtigen Zielobjekte in Abhängigkeit von  $d_{yc}$  und  $d_x$ , Teilkategorien

In Abbildung 6-34 ist der Longitudinalabstand über dem lateralen Abstand zur Fahrzeugmittelachse  $d_{yv}$ , und nicht wie in den vorhergehenden Abbildungen über dem Abstand zur Fahrerschlauchmitte  $d_{yc}$  aufgetragen. Aus der Darstellung der richtigen Zielobjekte lässt sich erkennen, dass die große Mehrheit der auftretenden Zielobjekte von dem  $\pm 8^\circ$ -Öffnungswinkel nahezu vollständig erfasst werden.

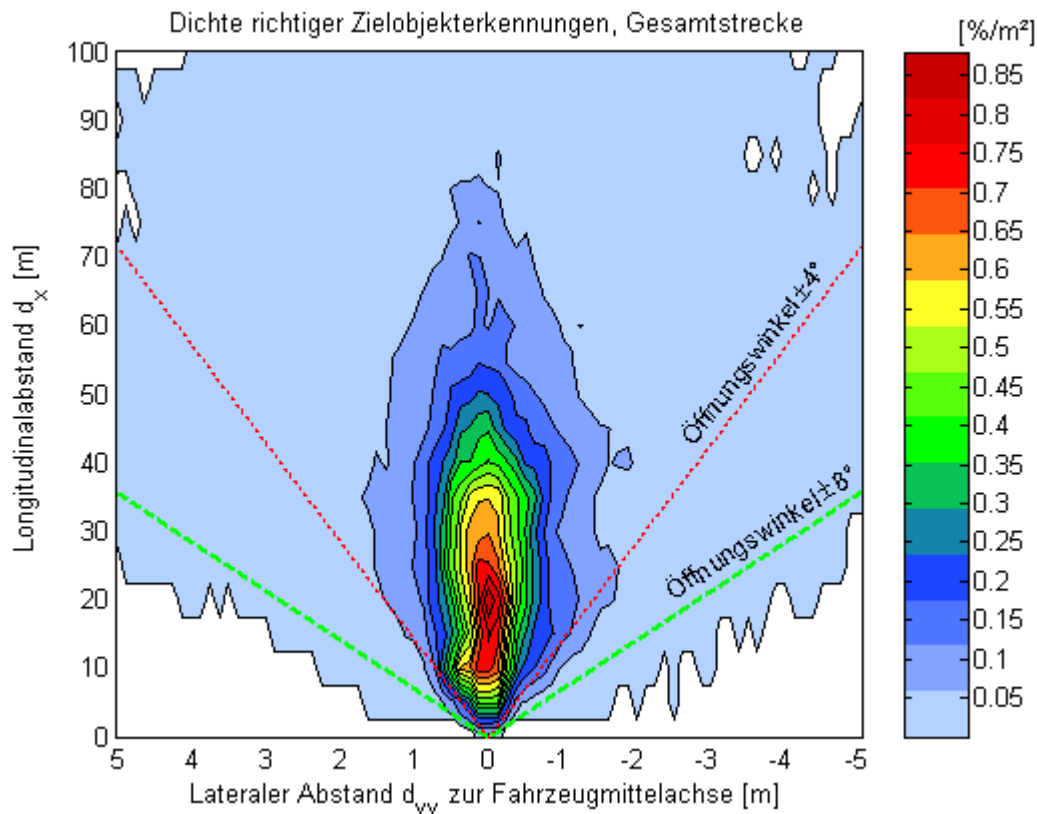


Abbildung 6-34: Dichte der richtigen Zielobjekte in Abhängigkeit von  $d_{yv}$  und  $d_x$ , Gesamtstrecke

Bei dem Vergleich zwischen den Dichten der Richtigerkennungen zum Lateralabstand bezogen auf die Fahrzeug- (Abbildung 6-34) und die Fahrerschlauchmittellachse (Abbildung 6-32) wird die Auswirkung des adaptiven Fahrerschlauchs verdeutlicht. Eine Erklärung für die aufgetretenen Zielobjekterfassungen außerhalb des  $\pm 8^\circ$ -Öffnungswinkels liegt im Falle höherer negativer Relativgeschwindigkeiten des erfassten Zielobjektes in Trackingeffekten begründet. Durch das zeitliche Nachführen (Tracking) des Zielobjekts, wenn keine Erfassung vorliegt, können bei sich annähernden Fahrzeugen bei „eingefrorenem“ Lateralabstand Winkel außerhalb des Sichtbereichs berechnet werden und zwar umso größere, je größer die negative Relativgeschwindigkeit ist. Die Verteilung der Richtigerkennungen im Diagramm der Fahrerschlauchmittellachse ist schmaler, deshalb resultieren höhere Dichten bezogen auf die Fahrerschlauchmitte (maximale Werte ca.  $1,2 \text{ \%/m}^2$  im Vergleich zu ca.  $0,85 \text{ \%/m}^2$  bezogen auf die Fahrzeugmittellachse).

Werden die einzelnen Teilkategorien betrachtet, so ist festzustellen, dass sich im Wesentlichen ein großes Unterscheidungsmerkmal bezogen auf die Diskussion der Diagramme relativ zur Fahrerschlauchachse zeigt: Die Erkennungsdichten streuen bei der Darstellung relativ zur Fahrzeugmittellachse über einen weiteren lateralen Bereich, so dass die Höhenlinien räumlich breitere Hüllkurven ergeben. Auf den beiden Landstraßenabschnitten wird die gesamte Erfassungsbreite des  $\pm 8^\circ$ -Öffnungswinkels ausgenutzt, während bei den beiden Autobahnabschnitten lediglich der Bereich von 4 m bis -4,5 m bei der zweistreifigen und von 3 m bis -4 m bei

der drei- bis fünfstreifigen Autobahn zur Zielobjektauswahl verwendet wird. Es ist eine Tendenz zu erkennen, dass der benötigte Erfassungsbereich ausgehend von der kurvenreichen Landstraße hin zu den Autobahnabschnitten schmäler wird.

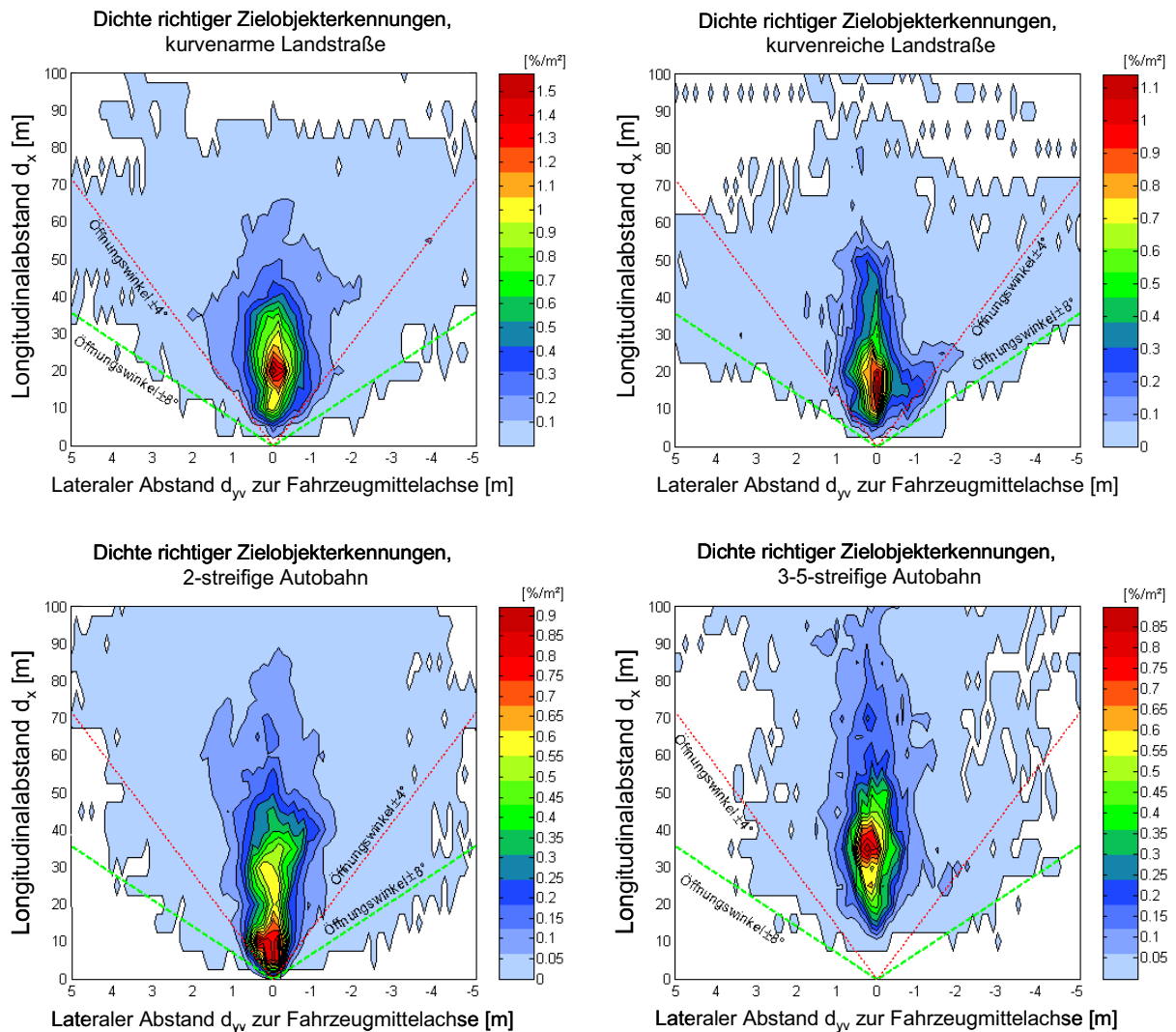


Abbildung 6-35: Dichte der richtigen Zielobjekte in Abhängigkeit von  $d_{yv}$  und  $d_x$ , alle Teilkategorien

In Abbildung 6-36 sind die falschen Zielobjekterkennungen für die Gesamtstrecke dargestellt. Nur im lateralen Bereich von etwa  $\pm 1$  m und einem Longitudinalabstand bis zu 40 m gibt es Bereiche ohne Falscherkennungen. Rechts der Fahrschlauchmittellachse in einem Abstand ab -2 m und links in einem Abstand ab 2,5 m treten die höchsten Falscherkennungsdichten auf.

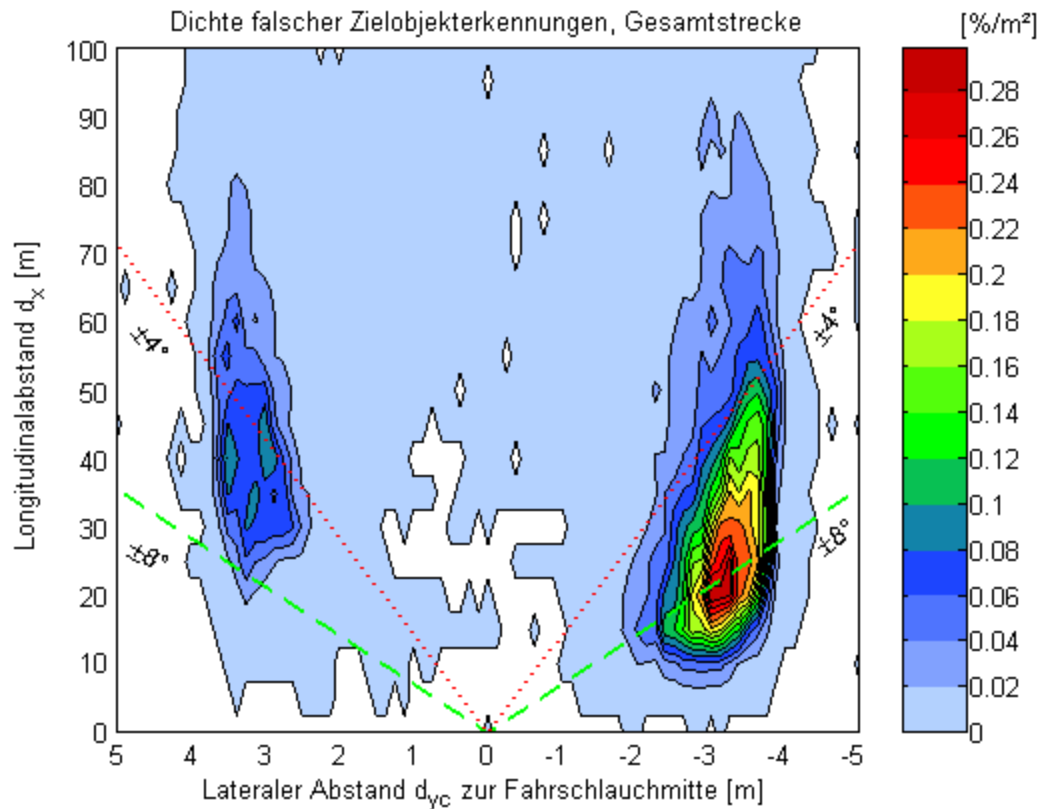


Abbildung 6-36: Dichte der falschen Zielobjekte in Abhängigkeit von  $d_{ye}$  und  $d_x$   
Gesamtstrecke

Werden die Ergebnisse der Teilkategorien betrachtet, so stellen sich nach Abbildung 6-37 folgende Unterschiede zur Gesamtstrecke dar. Die drei- bis fünfstreifigen Autobahnabschnitte entsprechen weitgehend der Darstellung der Gesamtstrecke. Auch hier liegen die Maxima der Dichten in dem Bereich zwischen den beiden eingezeichneten Sichtbereichen mit höheren Dichten auf der rechten Seite der Fahrschlauchmittelachse. Auffallend ist der größere Bereich ohne Falscherkennungen, der sich mittig bis ca. 80 m ausdehnt. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der zweistreifigen Autobahn, wobei sich hier der Bereich ohne Falscherkennungen auf ca. 50 m reduziert. Bei der kurvenarmen Landstraße sind die Dichten der Maxima links und rechts der Fahrschlauchmittelachse ähnlich verteilt, aber die Zielobjekte werden nur bis ca. 70 m erfasst. Der Bereich ohne Falscherkennungen ist breiter als bei der zweistreifigen Autobahn und dehnt sich ähnlich weit bis ca. 50 m aus. Der auffälligste Unterschied ist bei der kurvenreichen Landstraße zu erkennen. Dort ist der Bereich der Falscherkennungen nur bis ca. 50 m ausgedehnt und es überwiegt insgesamt der Bereich ohne Falscherkennungen.

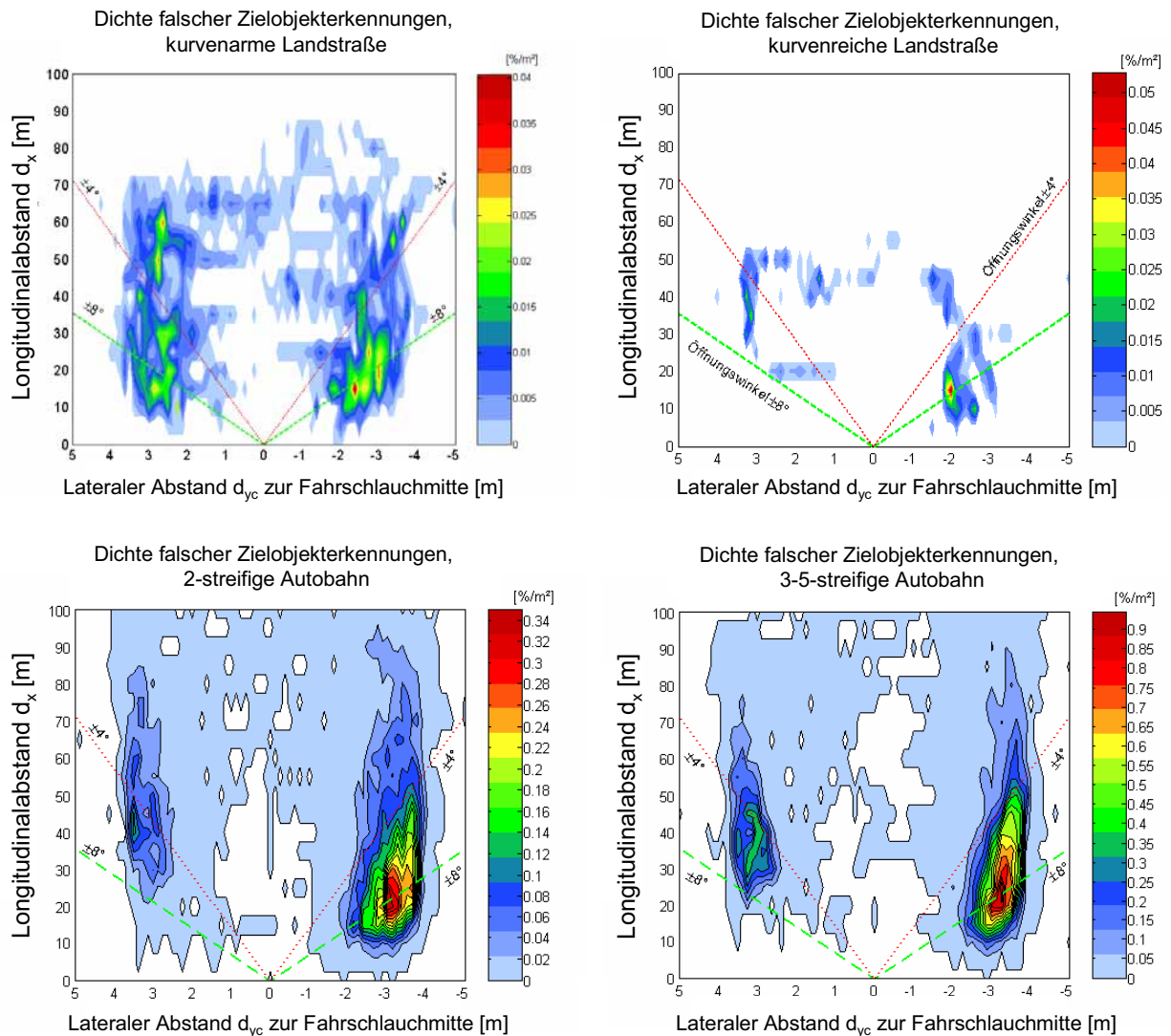


Abbildung 6-37: Dichte der falschen Zielobjekte in Abhängigkeit von  $d_{yc}$  und  $d_x$ , alle Teilkategorien

Wird dieser Untersuchungsgegenstand bezogen auf die Fahrzeugmittelachse betrachtet, so befinden sich die höchsten Dichten der Falscherkennungen gemäß Abbildung 6-38 zwischen dem  $\pm 4^\circ$ - und dem  $\pm 8^\circ$ -Öffnungswinkel sowie außerhalb eines vier Meter breiten Fahrschlauchs. Das bedeutet, dass bei dem Fahren mit einem kleineren Öffnungswinkel bzw. mit einem schmaleren Fahrschlauch die meisten Falscherkennungen nicht erfasst und damit auch nicht für eine Zielobjektauswahl verwendet werden.

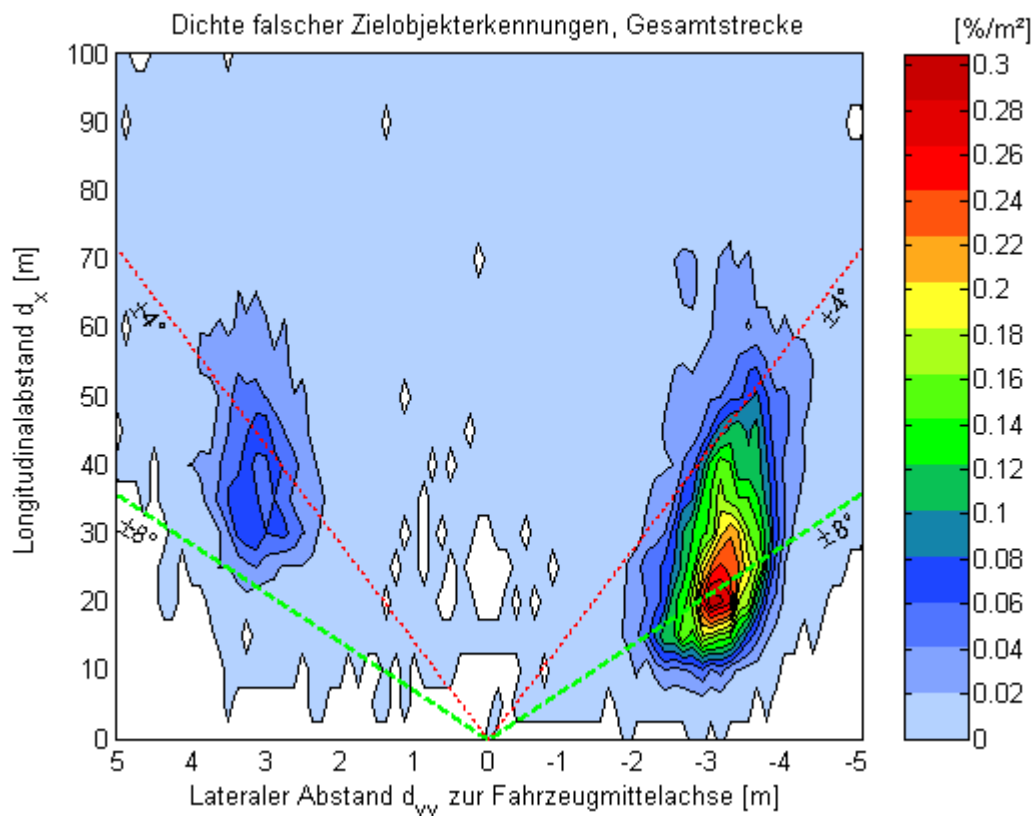


Abbildung 6-38: Dichte der falschen Zielobjekte in Abhängigkeit von  $d_{yv}$  und  $d_x$ , Gesamtstrecke

### 6.5.1.6 Zielobjektverluste

Im Rahmen dieses Untersuchungsschwerpunktes wechselt die Untersuchungsmethode von der implementierten acht Meter breiten Fahrschlauchkontur auf den standardmäßig eingestellten Fahrschlauch.

In diesem Zusammenhang werden Zielobjektverluste als Ereignisse definiert, bei denen ein richtig erkanntes Zielobjekt nicht mehr erkannt wird. Das bedeutet: aus einer Richtigerkennung wird eine Nichterkennung. Es gibt zwei grundsätzliche Arten von Zielobjektverlusten: zielauswahlbedingte und sichtbedingten Zielobjektverlusten. Bei den zielauswahlbedingten Zielobjektverlusten (ZOVz) fällt die Plausibilität des entsprechenden Zielobjekts unter einen Grenzwert, so dass es nicht mehr als Zielobjekt erkannt wird. Die zweite Art sind die sichtbedingten Zielobjektverluste (ZOVs). Dabei verlässt ein richtig erkanntes Zielobjekt den Sichtbereich des Radarsensors, so dass es von diesem nicht mehr erfasst wird. Der Sichtbereich wird durch den Öffnungswinkel des Radarsensors festgelegt. Mit anderen Worten bedeutet dies, dass bei einem zielauswahlbedingten Zielobjektverlust das Objekt noch erfasst wird, bei einem sichtbedingten Zielobjektverlust jedoch nicht mehr. Zusätzlich können Hindernisse die Radarerkennung von Zielobjekten in dem eigenen Fahrstreifen verhindern (z.B. Schutzplanken in Kurven). Die Analyse wird wie folgt vorgenommen: Wenn ein Zielobjekt als Richtigerkennung nicht mehr Zielobjekt ist, aber vom Radarsensor erfasst wird, handelt es sich dabei

um einen zielauswahlbedingten Zielobjektverlust. Falls ein als richtig erkanntes Zielobjekt aus dem Sichtbereich des Radarsensors austritt, ohne vorher zu einem nicht erkannten Zielobjekt zu werden, handelt es sich dabei um einen sichtbedingten Zielobjektverlust.

Tabelle 6-46: Übersicht Zielobjektverluste (zielauswahl- und sichtbedingt)

Fahrt	zielauswahlbedingte Zielobjektverluste	sichtbedingte Zielobjektverluste	Zielobjektverluste gesamt
1	36	3	39
2	57	9	66
3/4	66	24	90
7	40	27	67
8	30	10	40
Gesamt	229	73	302
		$p$	0,0079

Aus obiger Tabelle ist zu entnehmen, dass sich die Anzahl der sichtbedingten und zielauswahlbedingten Zielobjektverluste signifikant unterscheiden.

Im folgenden Diagramm sind die absoluten Häufigkeiten der Zielobjektverluste über dem lateralen Abstand zur Fahrschlauchmitte aufgetragen. Das Diagramm ist ähnlich der Häufigkeitsdiagramme der Richtig- und Falscherkennungen, allerdings wurden hier die Werte über eine Breite von sechzehn Meter aufgetragen.

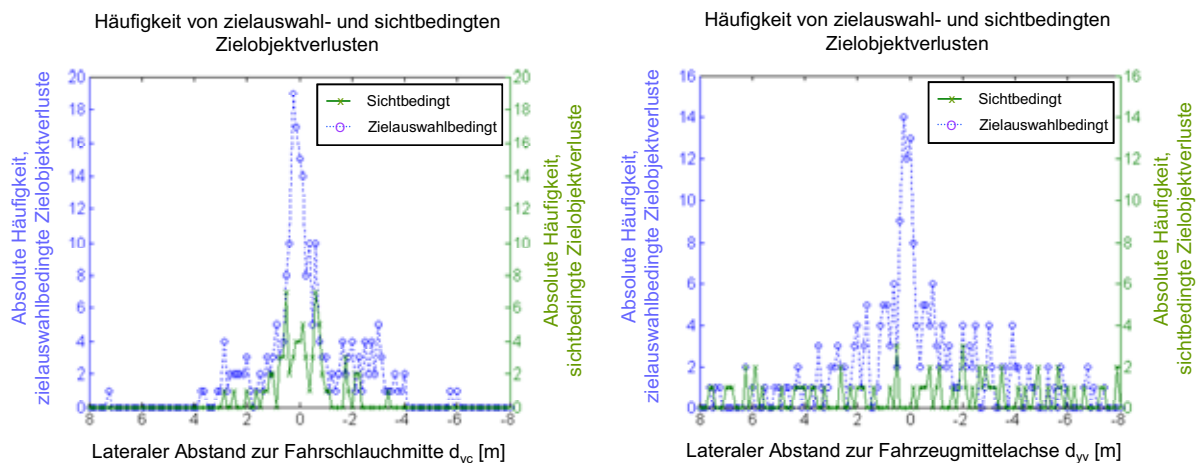


Abbildung 6-39: Absolute Häufigkeit der Zielobjektverluste bezogen auf die Fahrschlauchmittelachse (links) und Fahrzeugmittelachse (rechts)

In beiden Häufigkeitsdiagrammen ist sichtbar, dass es um die Fahrschlauch- bzw. Fahrzeugmittelachse die meisten Erkennungen von Zielobjektverlusten gibt und diese dann mit steigendem Abstand abfallen. Bei Betrachtung der Zielobjektverluste um die Fahrzeugmittelachse ist erkennbar, dass diese im Vergleich zur Fahrschlauchmittelachse breiter, d.h. über die doppelte Fahrschlauchbreite verteilt sind. Die Schlussfolgerung daraus ist, dass die Zielobjekt-



jektverluste in einem Zusammenhang mit dem Abstand zur Fahrschlauchbreite bzw. Fahrschlauchmittelachse stehen: Im Bereich des Fahrschlauches von  $\pm 4$  m nehmen die zielauswahlbedingten Zielobjektverluste vom Ursprung betrachtet nahezu quadratisch zu.

Entsprechend den Auswertungen der Richtig- und Falscherkennungen streuen die Zielobjektverluste bei der Darstellung um die Fahrzeugmittelachse deutlich mehr als um die Fahrschlauchmittelachse (Abbildung 6-40).

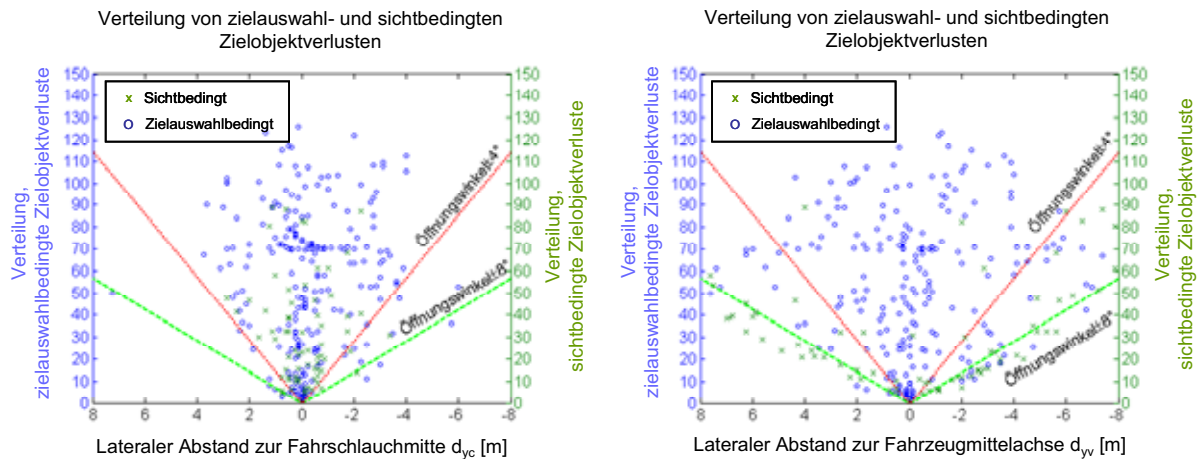


Abbildung 6-40: Verteilung von Zielobjektverlusten bezogen auf die Fahrschlauchmittelachse (links) und Fahrzeugmittelachse (rechts)

Während sich die sichtbedingten Zielobjektverluste bezogen auf die linke Darstellung alle um die Fahrschlauchmittelachse konzentrieren, sind sie im rechten Diagramm entlang der Grenze des Sichtbereichs konzentriert. Das bedeutet, dass der Fahrschlauch bei den Zielobjektverlusten am Radarsensorbereich stark gekrümmt war. Als Schlussfolgerung lässt sich feststellen, dass eine Senkung der aufgetretenen sichtbedingten Zielobjektverluste nur durch eine Erweiterung des horizontalen Sichtbereichs durch Vergrößerung des Öffnungswinkels möglich ist, wenngleich der Anteil dieser an den Gesamtzielobjektverlusten nur ein Drittel beträgt.

Eine im Anschluss an die Auswertung der Versuchsdaten durchgeführte Untersuchung der Zielobjektverluste in dem Bereich von  $-0,25 \text{ m} \leq d_{yc} \leq 0,25 \text{ m}$  zur Klärung der nicht sichtbereichsbedingten Zielobjektverluste ergab folgendes Ergebnis: Der Anteil der Zielverluste gemessen an der Gesamtanzahl aller Situationen von 1.976 in diesem Bereich beträgt 73 und damit 3,7 %. Von zehn separat untersuchten Situationen ergab die Analyse, dass vor und zum Zeitpunkt des Zielverlusts das „Measured-Flag“ bei fünf Situationen zu Null gesetzt war. Dies bedeutet, dass das für die ACC-Funktion angenommene Zielobjekt nicht mehr physikalisch gemessen und bedingt dadurch der Plausibilitätswert des vorher vorhandenen Zielobjektes reduziert wurde. In letzter Konsequenz wird das als Zielobjekt markierte Objekt bei dem Unterschreiten der unteren Schwelle der Plausibilitätsgrenze gelöscht, was zum Verlust des Ziel-

objektes<sup>102</sup> führt. Bei drei Situationen war vor dem Zielverlust das „Measured-Flag“ auf Eins gesetzt, d.h. das Objekt wurde physikalisch gemessen. Zum Zeitpunkt des Zielverlusts wurde für eine Zeitperiode <100 ms das Objekt nicht gemessen, danach wieder. Bei den verbleibenden zwei Situationen wurde das Objekt während des Beobachtungszeitraumes gemessen, obwohl ein Zielobjektverlust stattfand.

### 6.5.1.7 Fazit

Als ein Ergebnis dieser Untersuchungen hat sich gezeigt, dass für die Gesamtstrecke eine optimale Fahrschlauchbreite je nach Gewichtung der Falscherkennungen zwischen 1,9 m und 3,5 m liegt. Dies liegt zwischen der halben und ganzen Fahrstreifenbreite auf deutschen Straßen und entspricht auch dem Wertebereich der in Serie befindlichen ACC-Versionen, wie mündliche Auskünfte von ACC-Entwicklern bestätigen.

Das Optimum ist zudem abhängig von der Straßenkategorie:

Werden die Kostendiagramme der Teilkategorien (Abbildung 6-29) betrachtet, wird festgestellt, dass für die kurvenreiche Landstraße im Vergleich zu den anderen Teilkategorien das niedrigste Kostenniveau verbunden mit der größten optimalen Fahrschlauchbreite existiert. Das Kostenniveau steigt ausgehend von der kurvenarmen Landstraße über die zweistreifige Autobahn bis hin zur drei- bis fünfstreifigen Autobahn an. Die Werte der optimalen Fahrschlauchbreiten<sup>103</sup> sinken dabei entsprechend der oben gelisteten Reihenfolge beginnend bei der kurvenreichen Landstraße von 3,5 m, über 2,9m auf der kurvenarmen Landstraße bzw. 2,6 m auf der zweistreifigen Autobahn bis auf 1,9 m bei der drei- bis fünfstreifigen Autobahn.

Weil es auf den beiden Landstraßenabschnitten zu deutlich weniger Falscherkennungen kommt, ist die Wahl eines breiteren Fahrschlauches für diese Streckenkategorien im Vergleich zu den Autobahnabschnitten (besonders bei der drei- bis fünfstreifigen Autobahn) hinsichtlich der zu erwartenden Nebenspurstörungen möglich.

Dadurch, dass sich bis auf die Kategorie kurvenarme Landstraße die Verteilung der Falscherkennungen rechts der Fahrschlauchmittelachse häufen, ist die Ausgestaltung eines unsymmetrischen Fahrschlauches zur Reduzierung der Nebenspurstörungen bei gleichzeitig möglichst umfassender richtiger Zielobjekterkennungen zu überprüfen.

Mit den Ergebnissen zur Position der Zielobjekte aus Abbildung 6-34 lässt sich bzgl. der Zielverluste sagen, dass basierend auf der Dichteverteilung nur Objekte der geringsten Dichteskala in einem Winkel von mehr als  $\pm 4^\circ$  zur Fahrzeugmittelachse auftreten. Daher sind die

---

<sup>102</sup> In den beschriebenen Situationen wurde das relevante Zielobjekt verloren. Es wurde für den angegebenen Zeitraum nicht mehr gemessen, d.h. es lag kein Zielobjektnummernwechsel vor. Im Anschluss an diese Situation wurde entweder ein neues Zielobjekt detektiert oder das vorherige Zielobjekt mit einer neuen Nummer markiert.

<sup>103</sup> Die Werte wurden aus Tabelle 6-44 entnommen. Sie resultieren jeweils aus dem Schnittpunkt der beiden eingetragenen Fehlerbereiche für  $k_{falsch} = 1$  und  $k_{falsch} = 30$ .

aufgetretenen Zielverluste nicht nur durch den Sichtbereich, sondern hauptsächlich durch die Objektauswahl bedingt, da ein Zielverlust noch vor dem Verlust der Radarsignale stattfindet.

Durch einen breiteren Fahrschlauch lassen sich Zielverluste verringern, es treten aber zugleich mehr Falscherkennungen auf, die im Fahrbetrieb gemäß der Probandenaussagen (Abbildung 6-3) störend sind. Wird dieser Untersuchungsgegenstand bezogen auf die Fahrzeugmittelachse betrachtet, so befinden sich die höchsten Dichten der Falscherkennungen gemäß Abbildung 6-38 in dem Bereich zwischen dem  $\pm 4^\circ$ - und dem  $\pm 8^\circ$ -Öffnungswinkel sowie außerhalb eines vier Meter breiten Fahrschlauchs. Das bedeutet, dass bei dem Fahren mit einem kleineren Öffnungswinkel bzw. mit einem schmaleren Fahrschlauch ein Großteil der Falscherkennungen nicht erfasst und damit auch nicht für eine Zielobjektauswahl verwendet würden.

In Betrachtung der Verteilungen der Richtig- und Falscherkennungen bezogen auf die Fahrzeugmittelachse wird verdeutlicht, dass der gesamte zur Verfügung stehende Sichtbereich von  $\pm 8^\circ$  des Radarsensors zur Zielobjektauswahl ausgenutzt wird. Aus den Ergebnissen der Einschler-/ Ausschleruntersuchung wurde bestätigt, dass die bereits in Seriensystemen angewandte unterschiedliche Fahrschlauchbreite für die Ersterkennung von Zielobjekten und für das Verlassen von Zielobjekten beispielsweise durch Fahrstreifenwechsel empfehlenswert ist.

## 6.6 Vergleich objektiver Messdaten mit subjektiver Probandenbewertung

In diesem Kapitel werden die messtechnisch festgestellten signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Sichtbereichsversionen den Ergebnissen aus der Probandenbefragung für die dargestellten Untersuchungsschwerpunkte gegenübergestellt. Die Arbeitshypothese lautet für die Interpretation der Ergebnisse: Die  $\pm 8^\circ$ -Version wird signifikant besser bewertet als die  $\pm 4^\circ$ -Version. In Klammern wird aus Sicht der  $\pm 8^\circ$ -Version bei den signifikant unterschiedlichen Ergebnissen bezogen auf den Untersuchungsgegenstand die Richtung des Unterschieds angegeben.

### 6.6.1 Folgefahrten in Kurven

Tabelle 6-47: Vergleich objektiv-subjektiv Daten bei Folgefahrt in Kurven

Folgefahrt in Kurven	Signifikanter Unterschied zwischen der $\pm 8^\circ$ -Version und der $\pm 4^\circ$ -Version festgestellt für:	
	Objektive Messdaten	Subjektive Probandenaussage
Anzahl Zielverluste	Ja (weniger)	Ja (weniger )
Erkennungsdauer Zielobjekt	Ja (länger)	Ja (länger)
Zeit nach Zielverlust bis Wiedererkennung Zielobjekt	Nein	Nein

Bei der Auswertung der Messdaten ist für die  $\pm 4^\circ$ -Version über den gesamten betrachteten Streckenabschnitt eine signifikant größere Zahl an Zielverlusten im Vergleich zu der  $\pm 8^\circ$ -Version erkennbar. Die Probanden stellen ebenfalls einen signifikanten Unterschied zugunsten der  $\pm 8^\circ$ -Version fest.

Bei der Betrachtung der Erkennungsdauer der Zielfahrzeuge konnte sowohl anhand der Ergebnisse der Messdatenauswertung als auch aus Sicht der Probanden festgestellt werden, dass Zielfahrzeuge in Kurven signifikant länger von der  $\pm 8^\circ$ -Version erkannt werden.

Bezüglich der Zeit, die nach einem Zielverlust bis zur Wiedererkennung des Zielfahrzeugs vergeht, konnte sowohl aus den Messdaten als auch durch die Probandenbefragung für das Gesamtkollektiv kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Sichtbereichsversionen herausgefunden werden.

Es wurde festgestellt, dass die Probanden eine signifikante Differenzierung bzgl. der Anzahl der Zielverluste zwischen Geraden und Kurven machen können. Es besteht ein signifikanter Unterschied bezogen auf den Erkennungszeitpunkt eines Zielobjektes zwischen Geraden und Kurven.

## 6.6.2 Annäherungsfahrten in Kurven

Tabelle 6-48: Vergleich objektiv-subjektiv Daten bei Annäherungsfahrt in Kurven

Annäherungsfahrt Kurven	Signifikanter Unterschied zwischen der $\pm 8^\circ$ -Version und der $\pm 4^\circ$ -Version festgestellt für:	
Untersuchungsgegenstand	Objektive Messdaten	Subjektive Probandenaussage
Beginn der Erkennung	Nein	Ja (früher)

Bei den Annäherungsfahrten in Kurven wurde die zeitliche Erkennung der Zielobjekte untersucht. Aus den Messdatenergebnissen geht hervor, dass der Unterschied in diesem Untersuchungspunkt zu gering war, um diesen signifikant werden zu lassen. Im Gegensatz dazu konnten die Probanden einen höchstsignifikanten Unterschied bei der Erkennung feststellen, so dass sie die  $\pm 8^\circ$ -Version besser bewerteten.

## 6.6.3 Einschersituationen

Tabelle 6-49: Vergleich objektiv-subjektiv Daten bei Einschersituationen

Einschersituationen	Signifikanter Unterschied zwischen der $\pm 8^\circ$ -Version und der $\pm 4^\circ$ -Version festgestellt für:	
Untersuchungsgegenstand	Objektive Messdaten	Subjektive Probandenaussage
Erkennungszeitpunkt	Ja (früher)	Nein
Erkennungswinkel	Ja (größer)	
Lateralabstand	Ja (größer)	

Bezogen auf den Untersuchungsgegenstand, ob mit dem erweiterten horizontalen Sichtbereich von  $\pm 8^\circ$  einscherende Fahrzeuge früher erkannt werden, konnte sowohl hinsichtlich des Zeitpunktes als auch des Erkennungswinkels und des Lateralabstands ein hochsignifikanter Unterschied zugunsten der  $\pm 8^\circ$ -Version festgestellt werden. Des Weiteren konnte auch ein Einfluss vom Längsabstand zum Zeitpunkt der Erkennung und dem Erfassungszeitpunkt auf den Erkennungszeitpunkt signifikant nachgewiesen werden. Dabei werden Fahrzeuge in größerem Abstand später erkannt. Eine frühere Erfassung führt zu einer früheren Erkennung.

Die Probanden stellten in den genannten Bereichen keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Sichtbereichsvarianten fest. Einzig bei Einschersituationen im Nahbereich ist eine stärkere Tendenz zur besseren Bewertung der  $\pm 8^\circ$ -Version erkennbar.

#### **6.6.4 Ausschersituationen**

Die Probanden bewerten das Verhalten bei Ausschersituationen für beide Systeme qualitativ gleich, d.h. gleich viele positive wie negative Differenzen bzgl. jeder untersuchten Frage. Aus den Messdaten konnte kein signifikanter Unterschied bei Ausschersituationen zwischen den beiden Sichtbereichsversionen festgestellt werden.

Die multiple Regression weist wiederum wie bei Einschersituationen auf einen Einfluss des Längsabstandes auf den Demarkierungszeitpunkt hin. Ein größerer Längsabstand führt zu einer späteren Demarkierung (Anhang 10.7.3).

## 6.7 Zusammenstellung der Ergebnisse

Die in dieser Probandenversuchsreihe zur Untersuchung des Einflusses des horizontalen Sensoröffnungswinkels auf die ACC-Systemperformance signifikant festgestellten Verbesserungen der  $\pm 8^\circ$ -Version im Vergleich zur  $\pm 4^\circ$ -Version sind in der unten angeführten Tabelle zusammengestellt. Dabei werden die Verbesserungen in Kategorien aufgeführt, die Quellen der Untersuchung farblich markiert (grau: subjektiv aus Probandenbefragung bzw. weiß: objektiv aus Messdaten) und die erreichten Signifikanzniveaus<sup>104</sup> angegeben. Innerhalb dieser Kategorien wird zusätzlich dargestellt, bei welchen Situationen der Unterschied der Probandenanzahl zu gering war, um diesen Unterschied in dieser Versuchsreihe signifikant werden zu lassen. Bei dieser Angabe wird der festgestellte  $p$ -Wert in drei Klassen eingeteilt<sup>105</sup>.

Tabelle 6-50: Zusammenstellung der Ergebnisse

Untersuchte Kategorie:	Signifikanzniveau <sup>106</sup>	Vergleich $\pm 8^\circ$ vs. $\pm 4^\circ$	Kapitel
Kurvensituationen:			
Zeitliche Dauer der Erkennung von vorausfahrenden Fahrzeugen auf dem eigenen Fahrstreifen in Kurven bei Folgefahrt (Gesamtkollektiv, Hypothese 2b)	** , B	länger	6.2.1.2
Wiedererkennung von Fahrzeugen nach einem Zielverlust in Kurven bei Folgefahrt („zügige Fahrer“, Hypothese 2c)	** , B	früher	6.2.1.3
Anzahl der Zielverluste in Kurven bei Folgefahrt (Gesamtkollektiv, Hypothese 3a)	* , B	weniger	6.2.1.4
Zeitlicher Beginn der Erkennung von vorausfahrenden Fahrzeugen auf dem eigenen Fahrstreifen in Kurven bei Annäherungsfahrt (Gesamtkollektiv, „zügige Fahrer“, Hypothese 2a)	** , B	früher	6.2.2.2
Wiedererkennung von Fahrzeugen nach einem Zielverlust in Kurven bei Folgefahrt (Gesamtkollektiv, „komfortorientierte Fahrer“, Hypothese 2c)	† , B	rechtzeitiger	6.2.1.3

<sup>104</sup> \*: signifikant ( $p \leq 5\%$ ), \*\*: hochsignifikant ( $p \leq 1\%$ ), \*\*\*: höchstsignifikant ( $p \leq 0,1\%$ )

<sup>105</sup> †:  $5\% < p \leq 20\%$ , ††:  $20\% < p \leq 80\%$ , †††:  $80\% < p \leq 100\%$

<sup>106</sup> \*: signifikant ( $p \leq 5\%$ ), \*\*: hochsignifikant ( $p \leq 1\%$ ), \*\*\*: höchstsignifikant ( $p \leq 0,1\%$ ); B: Binomialtest, W: Wilcoxon Rangsummentest,  $\chi^2$ : Chi-Quadrat Test

Untersuchte Kategorie:	Signifikanzniveau <sup>107</sup>	Vergleich $\pm 8^\circ$ vs. $\pm 4^\circ$	Kapitel
<b>Kurvensituationen:</b>			
Zeitlicher Beginn der Erkennung von vorausfahrenden Fahrzeugen auf dem eigenen Fahrstreifen in Kurven bei Annäherungsfahrt („komfortorientierte Fahrer“, Hypothese 2a)	††, B		6.2.2.2
Verlustzeitpunkt des Zielobjekts ab Kurvenbeginn [s] und [%]	***, W	später	6.3.1.1
Verlustwinkel [°] des Zielobjekts bei Kurvensituationen	***, W	größer	6.3.1.1
Verlustradius [m] des Zielobjekts bei Kurvensituationen	***, W	kleiner	6.3.1.1
Kurvenradius [m] bei Wiedererkennung des Zielobjekts nach Zielverlust	***, W	kleiner	6.3.1.1
Mittlerer Radius [m] der Kurve mit Zielverlust	***, W	kleiner	6.3.1.1
Mittlerer Radius [m] der Kurve ohne Zielverlust	***, W	kleiner	6.3.1.1
Erkennungswinkel [°] bei Annäherungsfahrten in Kurven	***, W	größer	6.3.1.1
Lateralabstand [m] eines Zielobjekts bei Kurvensituationen	***, W	größer	6.3.1.1
Relativgeschwindigkeit [km/h] bei Kurvensituationen	** , W	größer	6.3.1.1
Beschleunigung [m/s <sup>2</sup> ] ACC-Fzg. 2 s nach Zielverlust in Kurvensituationen	* , W	größer	6.3.1.1
Dauer [s] der Wiedererkennung eines Zielobjekts nach Zielverlust in Kurven	††, W		6.3.1.1
Winkel [°] bei Wiedererkennung eines Zielobjekts nach Zielverlust in Kurven	††, W		6.3.1.1
Längsabstand [m] bei Wiedererkennung eines Zielobjekts nach Zielverlust in Kurven	††, W		6.3.1.1
Lateralabstand [m] bei Wiedererkennung eines Zielobjekts nach Zielverlust in Kurven	†, W	kleiner	6.3.1.1
Dauer [s] der Erkennung nach Erfassung bei Annäherungsfahrten	†, W	länger	10.7.2

<sup>107</sup> vgl. S.126



Untersuchte Kategorie:	Signifikanzniveau <sup>108</sup>	Vergleich $\pm 8^\circ$ vs. $\pm 4^\circ$	Kapitel
<b>Einschersituationen:</b>			
Erkennung von vorausfahrenden Fahrzeugen in Einschersituationen auf Geraden für Nah- und Fernbereich (Gesamtkollektiv, „zügige Fahrer“, „komfortorientierte Fahrer“, Hypothese 4b)	††, B (Nah) †††, B (Fern)	=	6.2.3.1
Lateralabstand [m] eines Zielobjekts bei Einschersituationen	**, W	größer	6.3.2
Erkennungswinkel [°] (alle Längsabstände) bei Einschersituationen	**, W	größer	6.3.2
Erkennungswinkel [°] bis 20m Längsabstand bei Einschersituationen	***, W	größer	6.3.2
Erkennungszeit [s] (alle Längsabstände) bei Einschersituationen	**, W	länger	6.3.2
Erkennungszeit [s] bis 20m Längsabstand bei Einschersituationen	***, W	länger	6.3.2
Erfassungszeit [s] bei Einschersituationen	***, W	länger	6.3.2
Längsabstand [m] des eines Zielobjekts bei Einschersituationen	†, W	kürzer	6.3.2
<b>Ausschersituationen:</b>			
Demarkierungswinkel [°] bei Ausschersituationen	†, W	größer	6.3.3
Längsabstand [m] des eines Zielobjekts bei Ausschersituationen	††, W		6.3.3
Lateralabstand [m] des eines Zielobjekts bei Ausschersituationen	††, W		6.3.3
<b>Fahrereingriffe:</b>			
Demarkierungszeit [s] des eines Zielobjekts bei Ausschersituationen	††, W		6.3.3
Anzahl Fahrereingriffe bei Folgefahrten in Kurven	***, W	weniger	6.3.4.1
Erkennungswinkel bei Fahrereingriffen in Einschersituationen	***, W	größer	6.3.4.2

<sup>108</sup> vgl. S.126

Untersuchte Kategorie:	Signifikanzniveau <sup>109</sup>	Vergleich $\pm 8^\circ$ vs. $\pm 4^\circ$	Kapitel
<b>Fahrereingriffe:</b>			
Wunschzeitlücke bei Fahrereingriffen in Einschersituationen	*, W	kleiner	6.3.4.2
Anzahl der Fahrereingriffe bei Folgefahrten in Kurven mit Zielverlust	†, $\chi^2$	geringer	6.3.4.1
Anzahl der Fahrereingriffe bei Einschersituationen	††, W		6.3.4.2
Erkennungszeit bei Fahrereingriffen in Einschersituationen	†, W	kürzer	6.3.4.2
<b>Funktionsstörung:</b>			
Erkennen von Nebenspurfahrzeugen, Nichtmarkieren eines Zielobjekts, Geisterziele, stehende Ziele	†††, W	=	6.4
<b>Allgemein:</b>			
Erkennung von vorausfahrenden Fahrzeugen auf der eigenen geraden Fahrstreifen bei Annäherungsfahrt (Gesamtkollektiv, „zügige Fahrer“, „komfortorientierte Fahrer“)	†††, B	=	6.2.2.3
Beschleunigung des ACC-Systems (Gesamtkollektiv)	†††, B	=	6.2.4.1
Zeitlicher Beschleunigungsbeginn bei dem Überholen (Gesamtkollektiv, „zügige Fahrer“, „komfortorientierte Fahrer“)	†††, B	=	6.2.4.2
Bremsintensität des ACC-Systems (Gesamtkollektiv)	†††, B	=	6.2.5.1
Bremsbeginn bei der Annäherung an ein Zielfahrzeug (Gesamtkollektiv, „zügige Fahrer“, „komfortorientierte Fahrer“)	†††, B	=	6.2.5.2
Beschleunigung [m/s <sup>2</sup> ] ACC-Fzg 1 s nach Zielverlust in Kurvensituationen	††, W		6.3.1.1

<sup>109</sup> vgl. S.126

## 7 Gültigkeit und Übertragbarkeit der Ergebnisse

Die im Rahmen dieser Arbeit vorgestellten Ergebnisse wurden für eine Systemkonfiguration bestehend aus einem Personenkraftwagen der Oberklasse in Kombination mit einem integrierten Radarsensor erarbeitet. Die verwendeten Einzelkomponenten entsprechen dem Serienstand. Die messtechnischen Ergebnisse und abgeleiteten Aussagen beruhen auf einem Sensor mit der Genauigkeitstoleranz eines ACC-Seriensystems, die aber bezogen auf die Aussagen hinreichend klein ist. Insbesondere bei Differenzbetrachtungen können wegen der direkten Umschaltung zwischen den beiden Sichtbereichen systematische Unterschiede vernachlässigt werden.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass bei der Übertragbarkeit auf andere ACC-Systeme zu unterscheiden ist bei den messtechnisch erzielten Ergebnissen, die

- a) auf einer reinen Erfassung von Objekten beruhen und bei denen der Einfluss des Sensors mit seinen physikalischen Eigenschaften zu berücksichtigen ist (Genauigkeitstoleranzband)
- b) auf der Erkennung von Zielobjekten beruhen und der wesentliche Einfluss durch den für die Zielauswahl verantwortlichen Algorithmus herbeigeführt wird.

Da in dieser Untersuchung kein zusätzlicher Referenzsensor eines anderen Herstellers inkl. Zielauswahlalgorithmus verwendet wurde, sind die Ergebnisse hinsichtlich Punkt b) nicht uneingeschränkt auf andere ACC-Systeme übertragbar. Die Ergebnisse, die die Beurteilung der Erfassung von Objekten betreffen, sind für Sensoren mit einem vergleichbaren physikalischen Messprinzip übertragbar.

Die Ergebnisse der Probandenversuchsreihe und der Fahrschlauchuntersuchung wurden auf einem Streckenmix bestehend aus Landstraßen und Bundesstraßen bzw. Bundesautobahnen ermittelt. Die Auswahl der Strecke kann unter methodischen Gesichtspunkten als eine Beschränkung der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf das ganze Verkehrssystem betrachtet werden. Unter Berücksichtigung der durch die Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen geltenden Richtlinien<sup>110</sup> zur Erstellung von Straßen ist für vergleichbare Strecken unter Berücksichtigung der Verkehrsbelastung bestenfalls eine geringe Einschränkung der Übertragbarkeit der Ergebnisse zu erwarten. Für zukünftige ACC-Systeme, die in ihrer Funktionalität über die in dieser Untersuchung berücksichtigten Landstraßenabschnitte hinaus den urbanen Bereich abdecken oder für sicherheitsrelevante Funktionen ausgelegt sind, können die Ergebnisse zum Sichtbereich nicht übertragen werden. Mit der vorgestellten Methodik kön-

---

<sup>110</sup> Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen: Straßenrichtlinien, 1995, S. 23ff

nen jedoch weitere Untersuchungen zu den oben genannten erweiterten Funktionalitäten durchgeführt werden.

Ein in Fahrversuchen verwendetes Probandenkollektiv stellt grundsätzlich eine Einschränkung der Übertragbarkeit aufgrund der zu treffenden Auswahl an sich und der quantitativen Begrenztheit auf die Grundgesamtheit aller Kraftfahrzeugführer dar. Losgelöst von den messtechnisch basierenden Ergebnissen sind daher die aufgrund des Subjektiveindrucks entstandenen Aussagen kritisch zu betrachten. Um den von Winner<sup>111</sup> beschriebenen Lerneffekt bei der Nutzung von ACC-Systemen zu berücksichtigen, wurde gemäß den Erkenntnissen von Bengler<sup>112</sup> auf ein bereits trainiertes Kollektiv zurückgegriffen. Es bleibt jedoch offen, ob alle Probanden den gleichen Kenntnisstand bezogen auf die Sichtbereichsbeurteilung von ACC-Systemen hatten und wie der Einfluss auf die Ergebnisse einzuschätzen ist. Dies trifft auch auf den von Fecher<sup>113</sup> festgestellten Einfluss einer Sichtbehinderung auf das Beurteilungsvermögen der Probanden zu, da die Versuche zum einen ausschließlich bei Tageslicht und zum anderen im Spätsommer bzw. Herbst durchgeführt wurden. Wie bereits oben erwähnt, entspricht das eingesetzte Kollektiv nicht der Grundgesamtheit an Fahrern, zumal jüngere Fahrer und Frauen nicht berücksichtigt wurden. Die zur Untersuchung herangezogenen 30 Probanden mit einem Altersdurchschnitt von 54 Jahren, die ähnliche Fahrzeuge wie das verwendete Versuchsfahrzeug fahren und mehrheitlich über Tempomaterfahung verfügen, entsprechen gemäß nicht veröffentlichten Firmenangaben der potentiellen Nutzergruppe von ACC-Systemen. Aus diesem Grund stellen die Auswahlkriterien der Probandenauswahl keine Einschränkung für die Übertragbarkeit auf das ACC-Nutzerkollektiv dar.

Die erzielten Ergebnisse der separaten Fahrschlauchuntersuchung unterlagen nicht dem Einfluss des Probandenkollektivs und basieren ausschließlich auf den erhobenen Messdaten. Sie belegen die Praxiserfahrungen bzgl. einer unterschiedlich für die Art der Straße optimalen Fahrschlauchbreite und verifizieren die heute angewandte Auslegung. Das entwickelte Verfahren zur Bestimmung eines optimalen Fahrschlauchs kann auf andere ACC-Systeme übertragen werden.

---

<sup>111</sup> Winner et. al.: Fahrversuche mit Probanden, 2003, S. 5

<sup>112</sup> Bengler: Fahrversuche mit Probanden, 2003, S. 86

<sup>113</sup> Fecher: Stationäres Folgerverhalten von Pkw-Fahrzeugführern, 2005, S. 92

## 8 Fazit, Empfehlungen und Ausblick

Die wesentlichen aus der Versuchsreihe erzielten Ergebnisse werden zusammenfassend dargestellt und die daraus abgeleiteten Verbesserungsvorschläge aufgeführt. Die Reihenfolge der Darstellung orientiert sich an der Ergebnisdarstellung aus Kapitel 6.

### 8.1 Subjektiveindruck der Probanden

Aus der Probandenbefragung vor Untersuchungsbeginn (Abbildung 6-3) waren die drei am meisten genannten störenden Defizite bei den bisher bekannten ACC-Systemen:

*Tabelle 8-1: Gewichtung der Defizite bisheriger ACC-Systeme vor Untersuchungsbeginn aus Sicht der Probanden*

1.	ACC erkennt einsicherende Fahrzeuge spät oder überhaupt nicht (25 von 30 Probanden)
2.	ACC erkennt vorausfahrende Fahrzeuge spät oder überhaupt nicht (22 von 30 Probanden)
3.	ACC führt grundlos Bremsmanöver durch (20 von 30 Probanden)

Der Bedarf der vier wichtigsten nach der Versuchsfahrt von den Probanden geäußerten Verbesserungen für eine Weiterentwicklung der beiden gefahrenen Systeme liegt in den Bereichen<sup>114</sup>:

*Tabelle 8-2: Gewichtung der Defizite des ACC-Systems nach Ende der Versuchsreihe aus Sicht der Probanden*

<b>±4°-Version:</b>	
1.	Erkennung von Zielfahrzeugen in Kurven
2.	Bremsverhalten
3.	Systemreaktion nach Erfassungsverlust von einem noch vorausfahrenden Zielfahrzeug
4.	Beschleunigungsverhalten
<b>±8°-Version:</b>	
1.	Beschleunigungsverhalten
2.	Bremsverhalten
3.	Systemreaktion auf einsicherende Fahrzeuge
4.	Erkennung von Zielfahrzeugen in Kurven

<sup>114</sup> vgl. Auswertung Anhang 10.6.6

Die von den Probanden gewünschten Verbesserungstendenzen der einzelnen Bereiche sind der detaillierten Analyse aus Kapitel 6.2 zu entnehmen.

Unabhängig von der Einteilung in Fahrerklassen äußerten die Probanden besonders bei höheren Geschwindigkeiten ab 100 km/h, dass über das Regelsystem die Geschwindigkeit im Fahrzeug früher und sanfter zu reduzieren ist. Für die Gruppe der „komfortbetonten Fahrer“ wäre ein früherer Bremsbeginn verbunden mit einem reduzierten Gradienten besonders wünschenswert.

Für weiterführende Untersuchungen ist zu prüfen, inwieweit die von den Probanden getroffene Selbsteinschätzung bzgl. des eigenen Fahrstils mit dem tatsächlichen Fahrverhalten und objektiven Klassifizierungsmerkmalen übereinstimmt. Ein möglicher Ansatz wird beispielsweise von Deml<sup>115</sup> vorgestellt.

## 8.2 Kurvensituationen

Signifikante Einflussgrößen bzgl. der Verbesserung des ACC-Verhaltens in Kurvensituationen sind der Sichtbereich, der Längsabstand und die Relativgeschwindigkeit zum Zielfahrzeug. Im Rahmen der Versuchsreihe wurde festgestellt, dass eine Erhöhung des relativen Verlustzeitpunkts ab Kurvenbeginn durch eine Verringerung des Abstandes zum Zielfahrzeug erreicht werden kann. Daher wird die Empfehlung ausgesprochen, zunächst die Erkennung von mehrstreifigen Streckenabschnitten um die Fahrsituationserkennung<sup>116</sup> „Kurven“ zu erweitern. Durch eine dynamische Verringerung der Zeitlücke, jedoch nicht unterhalb der in der ISO-Norm spezifizierten unteren Grenze von einer Sekunde, lassen sich besonders bei kurvenreichen Landstraßenabschnitten Zielverluste auch unabhängig von einer Sichtbereichserweiterung verringern. Bei Fecher<sup>117</sup> wird diese Empfehlung innerhalb einer Untersuchung zum stationären Folgeverhalten bei Nässe bestätigt, dass Fahrer auf Landstraßen im Vergleich zu Bundesautobahnen geringere Zeitlücken einhalten. Die Nutzerakzeptanz einer derartigen Maßnahme außerhalb des genannten Gültigkeitsbereiches bedarf sicherlich einer gesonderten Untersuchung.

Bei Folgefahrten in Kurven, die mit der  $\pm 8^\circ$ -Version gefahren werden, kommt es zu objektiv signifikant weniger Fahrereingriffen als bei Fahrten mit der  $\pm 4^\circ$ -Version. Die Probandenbewertung ergibt in keinem Fall für diesen Untersuchungsschwerpunkt einen signifikant nachzuweisenden Unterschied in der besseren Bewertung des  $\pm 8^\circ$ -Systems. Mögliche Erklärungen für dieses Untersuchungsergebnis sind, dass die „Blindflugregelung“ in Kurven ihre Aufgabe mit Erfolg erfüllt hat, die Probanden in diesem Punkt nicht ausreichend differenzieren können, ein Unterschied nicht bewusst wahrgenommen wird oder der zeitliche Umfang der Versuchsreihe zu gering war.

---

<sup>115</sup> Deml: Prädiktion des Fahrstils zur Auslegung von FAS, 2006, S. 6ff

<sup>116</sup> Die Hinzunahme eines weiteren Sensors (GPS, Kamera etc.) wird zur Umsetzung empfohlen.

<sup>117</sup> Fecher: Stationäres Folgeverhalten von Pkw-Fahrerführern, 2005, S. 92

Bzgl. der zeitlichen Dauer der Erkennung von vorausfahrenden Fahrzeugen auf dem eigenen Fahrstreifen in Kurven wurde durch die Auswertung des subjektiven Probandeneindrucks festgestellt, dass durch die  $\pm 8^\circ$ -Version das Zielfahrzeug hochsignifikant länger erkannt wird als mit der  $\pm 4^\circ$ -Version. Die messtechnische Analyse bestätigt diesen Unterschied.

Weiterhin wurde durch die Probandenbefragung innerhalb der Versuchsreihe ein signifikanter Unterschied in der Anzahl der Zielverluste in Kurven zugunsten der  $\pm 8^\circ$ -Version ermittelt. Dieser Eindruck wird gestützt durch die ausgewerteten Messungen. In einer weitergehenden Analyse wurde ein hochsignifikanter Unterschied bei den befahrbaren Kurvenradien (bis hin zum Zielverlust) festgestellt, d.h. es konnten mit der  $\pm 8^\circ$ -Version kleinere Radien gefahren werden.

Nach einem Zielverlust in Kurven besteht bei der Wiedererkennung sowohl bei der zeitlichen Dauer, bei dem lateralen Winkel, bei dem Longitudinalabstand als auch bei dem Lateralabstand kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Varianten. Ein daraus abgeleiteter Verbesserungsvorschlag geht von der Annahme aus, dass für die Wiedererkennung bzw. Annäherung an ein Zielfahrzeug nicht nur ein rein sichtweitenbedingter Ansatz, d.h. beispielsweise durch Vergrößerung des Sensorsichtbereiches, sondern viel mehr ein zielauswahlbedingter Ansatz für eine zukünftige ACC-Systementwicklung verfolgt werden kann. Dies kann beispielsweise durch Herabsetzen der Plausibilitätswerte für die Übernahme zum Zielobjekt in derartigen Kurvensituationen erfolgen.

### 8.3 Einschersituationen

Filzek<sup>118</sup> untermauert die subjektive Aussage der Probanden, ACC würde bei dem Einscheren zu spät reagieren. Dieser Sachverhalt führt dazu, dass das System mit steigender Relativgeschwindigkeit zunehmend übersteuert wird. Der Fahrer erkennt die Einschereabsicht früher als das System und leitet die Verzögerung früher ein. Das ACC benötigt dagegen aufgrund seiner eingeschränkten Situationsidentifikation mehr Zeit, um von dem Einscheren ausgehen zu können.

Eine Möglichkeit der Weiterentwicklung vermutet der Autor in einer gezielten Einschere-Antizipation unabhängig vom verwendeten Fahrschlauch. Werden die augenblicklichen Entwicklungstendenzen hinsichtlich einer Integration weiterer Umfeldsensoren inkl. deren Vernetzung mit bestehenden Systemen im Fahrzeug berücksichtigt, kann die Kursprädiktion beispielsweise durch Hinzunahme weiterer Informationsquellen (GPS und/oder Kamera) verbessert werden. Es wird angenommen, dass dadurch die Unsicherheit bei der Zielobjektauswahl verkleinert wird, um schnellere Entscheidungen treffen zu können. Unter Berücksichtigung der Haupteinflussgrößen für die Zielauswahlfehler<sup>119</sup> ist in weiterführenden Versuchen

---

<sup>118</sup> Filzek: Fahrer und ACC Abstandsverhalten, 2003, S. 74ff

<sup>119</sup> Winner: ACC Tagesform, 2005, S. 2ff

der Grad der Verbesserung für die Einscher-Antizipation herauszuarbeiten. Die Kursprädiktionsfehler sind nur zu einem geringen Teil am Gesamtfehler beteiligt. In Ein- und Ausschersituationen besteht ein größerer Einfluss in der Unsicherheit über das Reflektionszentrum und der Exzentrizität des Fahrzeugs im Fahrstreifen.

Bei der Betrachtung des Erfassungszeitpunktes bezogen auf den notierten Einscherbeginn werden mit der  $\pm 8^\circ$ -Variante Fahrzeuge signifikant früher als mit der  $\pm 4^\circ$ -Variante erfasst. Dieses Ergebnis fällt für longitudinale Abstände bis 20 m im Vergleich der beiden Versionen noch deutlicher zugunsten der  $\pm 8^\circ$ -Variante aus. Ein Fahrzeug im Nahbereich bis 20 m wird von der  $\pm 8^\circ$ -Version im Median 0,7 s früher erfasst als mit der  $\pm 4^\circ$ -Version. Insgesamt werden bei der  $\pm 4^\circ$ -Version weniger als 65 % der Einscherer vor dem Einscherbeginn erfasst, während es bei  $\pm 8^\circ$ -Version ca. 90 % sind. Dieser Aspekt verbessert sich demnach um einen ca. 25 %igen Anteil.

Ebenfalls besteht ein signifikanter Unterschied bei der Erkennungszeit, dem Erkennungswinkel und dem Lateralabstand. Diese objektiv festgestellte Signifikanz in der Erfassung und Erkennung kann aber nicht auf die Erkennung als potentiell Zielobjekt aus Sicht der Probanden übertragen werden. Lediglich in dem Untersuchungspunkt „Erkennung von vorausfahrenden Fahrzeugen in Einschersituationen auf Geraden“ ist eine Tendenz einer besseren Bewertung für die  $\pm 8^\circ$ -Variante zu erkennen. Signifikante Einflussgrößen bzgl. des Erkennungszeitpunktes eines Zielobjektes sind der Longitudinalabstand und die Differenz aus Erfassungszeit und Einscherbeginn.

## 8.4 Ausschersituationen

In der durchgeführten Untersuchung hat sich gezeigt, dass ein Wunsch der Probanden darin besteht, dass das ACC-System insgesamt früher bzw. offensiver auf Ausscherer reagiert. Neben dem zeitlichen Aspekt wünschen sich die Probanden auch eine höhere Beschleunigung, um die voreingestellte Wunschgeschwindigkeit nach dieser Fahrsituation früher zu erreichen. Diesem Wunsch widerspricht im Augenblick die Tatsache, dass vor allem in größeren Zielobjektentfernungen aufgrund der Grenzen der Kursprädiktion eine unsichere Vorhersage erfolgt, ob das Fahrzeug noch auf dem eigenen Fahrstreifen ist; im Zweifel bleibt es deshalb als Zielobjekt markiert. Je weiter das Zielfahrzeug entfernt ist, desto später wird es demarkiert. Für einen erweiterten horizontalen Sichtbereich kann dieser Effekt tendenziell größer sein. Signifikante Einflussgrößen bzgl. des Demarkierungszeitpunktes sind der Longitudinal- und der Lateralabstand.

## 8.5 Fahrereingriffe

Es kommt bei Folgefahrten in Kurven als Ergebnis der Auswertung der Messdaten zu einer signifikant unterschiedlichen Anzahl an Fahrereingriffen zugunsten der  $\pm 8^\circ$ -Version. Im Vergleich zu den Folgefahrten kann bei Annäherungsfahrten wegen der geringen Zahl an Ereig-



nissen keine Aussage auf Signifikanzniveau getroffen werden, auch wenn hier eine Tendenz zu weniger Fahrereingriffen bei der  $\pm 8^\circ$ -Version zu beobachten ist.

## 8.6 Funktionsstörungen

Für alle untersuchten Kategorien der Probandenversuchsreihe konnte durch eine Erweiterung des horizontalen Sichtbereichs kein signifikanter Unterschied bei der Erkennung von Nebenspurfahrzeugen, dem Nichtmarkieren eines Zielobjektes, bei Geisterzielen oder stehenden Zielen festgestellt werden. Als Erkenntnis bleibt festzuhalten, dass die Erweiterung des horizontalen Radarsensorsichtbereichs zumindest nicht zu einer signifikanten Verschlechterung bei den Funktionsstörungen führt. Während der Versuchsfahrten ist bei beiden Versionen in einer Stunde durchschnittlich eine Funktionsstörung aufgetreten.

## 8.7 Fahrschlauchuntersuchung

Es hat sich gezeigt, dass eine optimale Fahrschlauchbreite von der gewählten Streckenkategorie abhängig ist und je nach Gewichtung der Falscherkennungen zwischen 1,9 m und 3,5 m liegt<sup>120</sup>. Dies entspricht dem Wertebereich der in der Serie befindlichen ACC-Versionen, wie mündliche Auskünfte von ACC-Entwicklern bestätigen.

Die „kurvenreiche Landstraße“ hat im Vergleich zu den anderen Teilkategorien das niedrigste Kostenniveau verbunden mit der größten optimalen Fahrschlauchbreite von 3,5 m. Es folgen die „kurvenarme Landstraße“ mit 2,9 m, die „zweistreifige Autobahn“ mit 2,6 m und schließlich die „drei- bis fünfstreifige Autobahn“ mit 1,9 m optimaler Fahrschlauchbreite.

Dadurch, dass sich bis auf die Kategorie „kurvenarme Landstraße“ die Verteilung der Falscherkennungen rechts der Fahrschlauchmittelachse häufen, verspricht die Ausgestaltung eines von der Streckenkategorie abhängigen unsymmetrischen Fahrschlauches eine Reduzierung der Nebenspurstörungen bei gleichzeitig möglichst umfassender richtiger Zielobjekterkennungen.

Aufgrund der dargestellten Verteilung der Richtig- und Falscherkennungen bezogen auf die Fahrzeugmittelachse (Abbildung 6-34 und Abbildung 6-38) wird verdeutlicht, dass der gesamte Sichtbereich des vorliegenden Radarsensors für die Zielobjektauswahl ausgenutzt wird. Anhand der Ergebnisse der Ein-/ Ausscheruntersuchung bzw. der Untersuchung bei „Wiedererkennung nach Zielverlust in Kurven“ wurde festgestellt, dass eine unterschiedliche Fahrschlauchbreite für die Ersterkennung von Zielobjekten und für das Verlassen von Zielobjekten beispielsweise durch Fahrstreifenwechsel ratsam erscheint.

---

<sup>120</sup> Die Werte wurden aus Tabelle 6-44 entnommen. Sie resultieren jeweils aus dem Schnittpunkt der beiden eingetragenen Fehlerbereiche für  $k_{falsch} = 1$  und 30.

Eine andere Betrachtungsweise basiert auf der Erkenntnis, dass sich die augenblicklich implementierte Fahrschlauchbreite für die ganzheitliche Betrachtung des ACC-Verhaltens als geeignet erwiesen hat. Für die festgestellten Defizite, beispielsweise in Einschersituationen, sind situationsabhängige Verbesserungen durch eine fahrschlauchunabhängige Lösung zu untersuchen.

## 9 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit untersucht die vielfach schon erwartete Verbesserung des Adaptive Cruise Control-Systems (ACC) durch einen erweiterten horizontalen Sensorsichtbereich und beschäftigt sich mit der Entwicklung eines Verfahrens zur Bestimmung des optimalen Fahr-schlauches derartiger Systeme bei Personenkraftwagen.

ACC-Systeme gibt es entsprechend der Philosophie verschiedener Automobilhersteller in unterschiedlichen Systemausprägungen. Ein charakteristischer Faktor hierfür ist die Sensorleistungsfähigkeit bezogen auf den horizontalen Sichtbereich. Publierte Forschungsergebnisse liefern Hinweise darauf, dass das limitierte Sichtfeld von ACC-Systemen der ersten Generation neben der zuverlässigen Situationsinterpretation die wichtigste Systemgrenze darstellt. Dies kann sich als Schwachpunkt vor allem in einer späten Erkennung von einscheren-den Fahrzeugen bzw. einer eingeschränkten Kurvenfähigkeit äußern. Die ACC-Systeme der zweiten Generation sind bereits eingeführt worden. Sie unterscheiden sich technisch von den Systemen der ersten Generation vor allem durch den erweiterten lateralen Sichtbereich bzw. die vergrößerte longitudinale Reichweite. Die für diese Arbeit abgeleitete Fragestellung beschäftigt sich mit der Problematik, wie sich eine horizontale Sichtbereichserweiterung auf die Systemperformance von ACC-Systemen auswirkt.

In einer theoretischen Analyse werden drei Ansätze beschrieben, die beinhalten, welche Fahr-situationen Einfluss auf die Gestaltung des Sichtbereiches von ACC-Systemen haben. Ergän-zend dazu werden die grundsätzlichen Anforderungen an die Ausgestaltung des Fahr-schlauches erarbeitet. Dies bildet zusammen mit den gewonnenen Erkenntnissen aus der Lite-ratur die Grundlage zur Entwicklung einer Bewertungsmatrix für ACC-Systeme basierend auf Funktionsmerkmalen. Neben der ISO 15622 Richtlinie gibt es keine dem Verfasser bekannten standardisierten Bewertungsverfahren für ACC-Systeme basierend auf objektiven Klassifizie-rungsmerkmalen. Bezogen auf die Beurteilung von ACC-Sensoren ist gemäß Domsch bereits ein Testverfahren bekannt, welches jedoch nicht die Funktionalität des Assistenzsystems be-rücksichtigt, sondern sich im Wesentlichen mit den Eigenschaften des Sensors, beispielsweise hinsichtlich der Detektion unter dem Einfluss von Witterungsbedingungen, befasst.

In dieser Arbeit wird eine Methodik erarbeitet, um den Einfluss der Objekterkennung und der Zielauswahl auf die Längsregelungsfunktion in Bezug auf die genannten Schwachpunkte in Einscher- bzw. Kurvensituationen zu untersuchen und die Abhängigkeiten des horizontalen Sichtbereichs eines Radarsensors auf die ACC-Systemperformance zu beschreiben.

Zur Analyse des Einflusses des Sichtbereiches auf das ACC-Systemverhalten wurde ein Pro-bandenversuch mit 30 Teilnehmern und zwei ausgewählten Sichtbereichsvarianten über eine Fahrstrecke von ca. 12.000 km durchgeführt. Um den Einfluss der Fahrschlauchbreite auf die Zielobjektauswahl zu untersuchen, erfolgte eine separate Versuchsreihe.

Die Erweiterung des horizontalen Sichtbereichs wirkt sich insgesamt positiv aus, aber nicht in allen Situationen. Vor allem werden Zielverluste und Fahrereingriffe in Kurven stark vermieden, wobei jedoch der Nutzen auf die Fahrer durch eine effektive „Blindflugregelung“ herabgesetzt ist. Die „Blindflugregelung“ hält die Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Gierrate und dem Lenkradwinkel trotz eines verlorenen Zielfahrzeugs konstant oder verhindert ein abruptes Beschleunigen. Eine durch die Probanden spürbare Verbesserung konnte bei der zeitlichen Dauer der Erkennung von vorausfahrenden Fahrzeugen in Kurven festgestellt werden. Bei dem Einscheren finden sich die erhofften Verbesserungen einer früheren Erfassung, d.h. beispielsweise im Nahbereich bis 20 m werden Zielobjekte im Median 0,7 s früher erkannt, ohne allerdings die Zahl der Fahrereingriffe zu verringern. Eine Möglichkeit der Weiterentwicklung wird in einer gezielten Einscher-Antizipation unabhängig vom verwendeten Fahrschlauch vermutet. Für den Bereich der Ausschersituationen konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Eine Steigerung des Sichtbereichs über  $\pm 8^\circ$  hinaus scheint in der Standard-ACC-Ausführung keinen weiteren Nutzen zu versprechen, wobei aber betont wird, dass dies nicht auf den Einsatz im Niedriggeschwindigkeitsbereich (FullSpeedRange-ACC) übertragen werden kann. Die Erweiterung des Sensorsichtbereichs hat zumindest nicht zu einer signifikanten Verschlechterung bezüglich der Funktionsstörungen geführt. Während der Versuchsfahrten ist bei beiden Versionen in einer Stunde durchschnittlich eine Funktionsstörung aufgetreten. Als Ergebnis der separaten Versuchsreihe wurde ein Verfahren zur Bestimmung eines optimalen Fahrschlauchs aufgezeigt. Die Ergebnisse belegen die Praxiserfahrungen bzgl. einer unterschiedlich für die Art der Straße optimalen Fahrschlauchbreite und verifizieren die heute angewandte Auslegung.

## 10 Anhang

### 10.1 Recherche Sichtbereiche ACC-Sensoren

Tabelle 10-1: Aktuelle Radarsensoren (Fernbereich)

	Sichtbereich		Entfernungsbereich
	horizontal	Vertikal	
ADC AIR	$\pm 5,1^\circ$	$\pm 1,7^\circ$	7...150 m
Autocruise TRW AC 10	$\pm 6,0^\circ$	k.A.	k.A. ...200 m
Autocruise TRW AC20	$\pm 6,0^\circ$	k.A.	1...200 m
Bosch ACC1-SCU	$\pm 4,0^\circ$	$\pm 1,5^\circ$	2...120 m
Bosch LRR 2	$\pm 8,0^\circ$	$\pm 2,0^\circ$	2...150 m
CelsiusTech Electronics	$\pm 8,5^\circ$	k.A.	1...200 m
Delphi Forward Looking Radar	$\pm 8,0^\circ$	$\pm 2,0^\circ$	k.A. ...150 m
Denso	$\pm 10,0^\circ$	k.A.	2...150 m
Eaton Vorad / Hitachi	$\pm 8,0^\circ$	$\pm 2,0^\circ$	1...120 m
Eaton Vorad EVT 300	$\pm 6,0^\circ$	k.A.	1...110 m
Fujitsu Ten	$\pm 8,0^\circ$	$\pm 4,0^\circ$	k.A. ...120 m
Lucas Varsity ACC / Thomson-CSF	$\pm 6,0^\circ$	k.A.	1...150 m
Mitsubishi	$\pm 8,0^\circ$	k.A.	0...120 m
Visteon	$\pm 4,0^\circ$	$\pm 2,0^\circ$	1...150 m

Die meisten Fernbereichssensoren arbeiten mit der 76- bis 77-GHz-Technologie. Eine Ausnahme bildet der von Eaton Vorad entwickelte Sensor, er arbeitet mit einer Frequenz von 24 GHz.

Tabelle 10-2: Aktuelle Radarsensoren (Nahbereich)

	Sichtbereich		Entfernungsbereich
	horizontal	vertikal	
Bosch SRR	$\pm 50,0^\circ$	$\pm 10,0^\circ$	0,3...7 m
ADC	k.A.	k.A.	k.A.
AMP M/A COM	$\pm 35,0^\circ$	$\pm 8,0^\circ$	0,1...20 m
Autocruise TRW / Thales	$\pm 30,0^\circ$	$\pm 10,0^\circ$	k.A. ...50 m
McEwan RRF 24	$20^\circ$	k.A.	0,1...20 m
SMS (diverse Sensoren)	k.A.	k.A.	0,2...70 m
Valeo	k.A.	k.A.	0,5...60 m
Visteon	k.A.	k.A.	k.A. ...6 m

Bei den Nahbereichssensoren ist zu beachten, dass es sich bisher meist um Prototypen handelt, da die 24-GHz-Technologie in Europa erst ab 2005 bis 2013<sup>121</sup> zugelassen ist. Der von Thales mitentwickelte Autocruise TRW AC 10 arbeitet mit einer 76,5-GHz-Technologie.

Die Sensoren von Smart Microwave Sensors (SMS) werden nach Kundenwunsch konfiguriert und programmiert. Der Kunde kann Erfassungsbereich und Reichweite vorgeben. Auch die Firma McEwan liefert Sensoren mit vom Kunden festgelegten Erfassungsbereichen und Reichweiten.

*Tabelle 10-3: Aktuelle Lidarsensoren*

	Sichtbereich		Entfernungsbereich
	horizontal	Vertikal	
ADC AIS 100	± 11,0°	± 3,0°	1...180 m
ADC AIS 200	± 15,0°	± 3,25°	1...180 m
Delphi	12,0°	3,0°	k.A. ...150 m
Denso	16,0°	4,0°	k.A.
Hella / IBEO ALASCA	bis 240°	3,2°	0,3...80 m
LD Automotive IBEO	Bis 270°	k.A.	0,5...50 m

<sup>121</sup> <http://www.autokiste.de/start.htm?site=/psg/0501/3911.htm>

## 10.2 Hypothesenbildung

Als Grundlage für statistische Testverfahren werden Hypothesen benötigt, die im Rahmen einer statistischen Untersuchung überprüft werden. Ausgehend von der ursprünglichen Formulierung vor Beginn des Vorversuchs Anfang 2005 wurden diese unter Einbeziehung der Motivation, dem Erkenntniswert und der Methodik zum Widerlegen der nach Popper<sup>122</sup> formulierten Hypothesen in einem mehrfach durchlaufenden Prozess bis zum Erreichen der hier aufgeführten endgültigen Form konkretisiert.

Die Hypothesen beziehen sich auf die Wahrnehmung der Probanden hinsichtlich einer Veränderung des Sichtbereichs des Radarsensors. Diese Hypothesen bilden jedoch gleichzeitig die Basis für eine Untersuchung der aus den Messdaten erhaltenen Ergebnisse. Zur Untersuchung der formulierten Hypothesen wurden entsprechende Fragen in den Fragebögen formuliert.

### Hypothese 1:

**„Die Probanden differenzieren bei der Beurteilung des Sichtbereichs nicht zwischen dem Sichtbereich auf einer Geraden oder in einer Kurve**

- **hinsichtlich der Anzahl der Zielverluste. (1a)**
- **hinsichtlich dem Erkennungszeitpunkt.“ (1b)**

Ziel ist es die Beurteilung der Probanden hinsichtlich des Systemverhaltens auf gerader Strecke und in Kurven zu untersuchen. Die Hypothese wurde negativ formuliert, da sich bei dem Vorversuch gezeigt hatte, dass die Probanden durchaus differenzieren können.

### Hypothese 2:

**„Durch den von  $\pm 4^\circ$  auf  $\pm 8^\circ$  erweiterten horizontalen Sichtbereich werden Fahrzeuge in Kurven für den Probanden**

- **nicht früher von der ACC- Regelung erkannt. (2a)**
- **nicht länger von der ACC- Regelung als relevantes Zielfahrzeug eingestuft. (2b)**
- **nicht früher nach einem Zielverlust wieder erkannt.“ (2c)**

Die Hypothese 2a wurde wiederum ausgehend von den Ergebnissen aus dem Vorversuch positiv formuliert.

---

<sup>122</sup> Popper: Logik der Forschung, 2005

**Hypothese 3:**

**„Durch den von  $\pm 4^\circ$  auf  $\pm 8^\circ$  erweiterten horizontalen Sichtbereich**

- **gibt es in Kurven für den Probanden nicht weniger Zielverluste.** (3a)
- **gibt es in Kurven mit mittleren absoluten Kurvenkrümmungen bis  $0.002 \text{ m}^{-1}$  nicht weniger Zielverluste.** (3b)
- **gibt es in Kurven mit großen absoluten Kurvenkrümmungen bis  $0.005 \text{ m}^{-1}$  nicht weniger Zielverluste.“** (3c)

Die Hypothesen 3b und 3c werden ausschließlich anhand der Messdaten untersucht, da eine Beurteilung durch den Probanden nicht oder nur unzuverlässig<sup>123</sup> durchzuführen ist. Eine Abstufung im Sinne von kleiner, mittel, größer würde in diesem Fall ebenfalls zu nicht belastbaren Ergebnissen führen.

**Hypothese 4:**

**„Durch den von  $\pm 4^\circ$  auf  $\pm 8^\circ$  erweiterten horizontalen Sichtbereich werden Fahrzeuge in Einschersituationen für den Probanden**

- **in Kurven** (4a)
- **auf Geraden** (4b)

**nicht früher erkannt.“**

Da die Probanden im Vorversuch keinen Unterschied bzgl. der zeitlichen Erkennung feststellen konnten, wurde die Hypothese, ausgehend von diesem Ergebnis, positiv formuliert. Zum Zeitpunkt der Formulierung der Hypothese war noch nicht absehbar, ob sich das Kriterium Einscheren in Kurven untersuchen lassen würde. Es zeigte sich hier jedoch, dass die Häufigkeit von solchen Situationen auf dem Landstraßenabschnitt zu gering war.

**Hypothese 5:**

- **„Die Zahl der nicht berechtigten Fahrereingriffe bei Einschersituationen im Nahbereich wird durch den von  $\pm 4^\circ$  auf  $\pm 8^\circ$  erweiterten horizontalen Sichtbereich abnehmen.“** (5a)
- **„Die Zahl der Übernahmeaufforderungen (Warnungen) des Systems vor Fahrereingriffen wird durch den von  $\pm 4^\circ$  auf  $\pm 8^\circ$  erweiterten horizontalen Sichtbereich zunehmen.“** (5b)

Auch die Hypothese (5a) wurde nach den Ergebnissen des Vorversuchs positiv formuliert, um sie falsifizieren zu können. Um zu bewerten, ob ein Fahrereingriff notwendig war oder nicht,

---

<sup>123</sup> Bereits das Schätzen von Kurvenradien ist nur unbefriedigend möglich.



wird der von Filzek<sup>124</sup> eingeführte zweidimensionale Sicherheitsraum TTC zur Zeitlücke betrachtet.

### **Hypothese 6:**

**„Eine vom Probanden als spät empfundene Erkennung des relevanten Zielfahrzeugs wird nicht akzeptiert.“**

Die Hypothese 6 untersucht, in wie weit für die Probanden eine in ihren Augen späte Erkennung noch akzeptabel ist. Generell wird erwartet, was sich in dem Vorversuch bestätigt hat, dass die Probanden einem teuren Komfortsystem keine späten Reaktionen zugestehen werden. Diese Erwartungshaltung trifft sowohl für das  $\pm 4^\circ$ - als auch das  $\pm 8^\circ$ -System gleichermaßen zu.

### **Hypothese 7:**

**„Ein von  $\pm 4^\circ$  auf  $\pm 8^\circ$  erweiterter, horizontaler Sichtbereich führt dazu, dass die Probanden**

- **einen kleineren Zeitabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug wählen. (7a)**
- **eine höhere Fahrgeschwindigkeit wählen.“ (7b)**

Der erweiterte Sichtbereich führt dazu, dass sowohl zeitlich als auch räumlich potentielle Zielfahrzeuge früher erkannt werden. Dadurch könnte sich ein größeres Sicherheitsgefühl der Probanden einstellen, wodurch der zeitliche Abstand kleiner und die eingestellte Wunschgeschwindigkeit höher eingestellt werden könnte.

Der Vorversuch hat gezeigt, dass der eingestellte Abstand unabhängig von der gefahrenen Variante ist und die Probanden die Zeitlücke vielmehr entsprechend ihrem persönlichen Fahrstil wählen.

### **Hypothese 8:**

**„Ein von  $\pm 4^\circ$  auf  $\pm 8^\circ$  erweiterter horizontaler Sichtbereich führt nicht zu mehr feststellbaren Falscherkennungen.“**

In dem bereits durchgeführten Vorversuch konnte noch nicht gezeigt werden, ob durch eine Erweiterung des horizontalen Sichtbereichs auch mehr Falscherkennungen des Systems auftreten.

---

<sup>124</sup> Filzek: Fahrer und ACC Abstandsverhalten, 2003, S. 45ff

**Hypothese 9:**

**„Ein von  $\pm 4^\circ$  auf  $\pm 8^\circ$  erweiterter horizontaler Sichtbereich führt für den Probanden nicht zu einer Verbesserung**

- **der Funktionszuverlässigkeit. (9a)**
- **des Sicherheitsgefühls.“ (9b)**

Hypothese 9 untersucht, inwiefern sich eine Variation des horizontalen Sichtbereichs bei der Probandenzufriedenheit, die sehr stark von der Funktionszuverlässigkeit und auch dem empfundenen Sicherheitsgefühl abhängt, bemerkbar macht. Der Unterpunkt 9a wird im Rahmen von Falscherkennungen untersucht, Punkt 9b wird in der Probandencharakterisierung angesprochen.

### 10.3 Erhebungsmethodik

Tabelle 10-4: Erhobene Einflussfaktoren bzw. -größen

<b>Einflussfaktor bzw. -größe</b>	<b>Zeitliche Veränderlichkeit</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Erhebungsmethode</b>
<b>Persönliche Daten</b>			
Alter	variiert	Zwischen 41 und 72 Jahren	Fragebogen
Geschlecht	konstant	Männlich	Fragebogen
Fahrerfahrung	variiert	Mindestens 14 Jahre im Besitz der Fahrerlaubnis und mindestens 300.000 km Gesamtfahrleistung	Fragebogen
Fahrstil	variiert	Einordnung der Probanden durch Selbsteinschätzung in Kategorien: defensiv, komfortbetont, zügig, offensiv	Fragebogen
<b>Fahrumgebung und Fahrtätigkeit</b>			
ACC-System	variiert	Zwei Sichtbereichsversionen umschaltbar in einem Versuchsfahrzeug implementiert	Fahrtprotokoll
Fahraufgabe	konstant	Eine hohe Nutzungshäufigkeit des ACC-Systems war anzustreben	Versuchsbegleiter
Streckencharakteristik	variiert	Autobahn zwei- bis vierstreifig, mittel bis hohe tgl. Verkehrsbelastung; Landstraße ein- bis zweistreifig, niedrig bis mittelhohe tgl. Verkehrsbelastung	Verkehrsmengenkarte
Wetterbedingungen	variiert	von trocken, sonnig bis nass, bewölkt	Fahrtprotokoll

Die erhobenen Messfaktoren und –größen werden getrennt nach subjektiven und objektiven Daten dargestellt.

Tabelle 10-5: Erhobene Messfaktoren bzw. -größen der subjektiven Daten

Messfaktor bzw. -größe	Beschreibung	Erhebungsmethode
Subjektive Daten		
Anzahl Zielverluste	Streckenbezogen empfundene Anzahl an Zielverlusten	Fragebogen / Fahrtprotokoll
Zeitliches Empfinden der Erkennung vorausfahrender Fahrzeuge	Strecken- und situationsbezogenes zeitliches Empfinden der Probanden bei der Erkennung vorausfahrender Fahrzeuge als auch bei Folgeregelung	Fragebogen
Empfinden des Beschleunigungs-/ Verzögerungsverhaltens	Zeitliches Einsetzen des Beschleunigungs-/ Verzögerungsverhaltens als auch Beurteilung der absoluten Höhe und des Gradienten	Fragebogen
Anzahl Funktionsstörungen	Art, Anzahl und Nachvollziehbarkeit der Funktionsstörungen	Fragebogen / Fahrtprotokoll
Kommentare der Probanden	Bemerkungen und Anregungen der Probanden während bzw. nach der Versuchsfahrt	Fahrtprotokoll

Tabelle 10-6: Erhobene Messfaktoren bzw. -größen der objektiven Daten

Messfaktor bzw. -größe	Beschreibung	Erhebungsmethode
Objektive Daten		
ACC-System Status	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ACC ausgeschaltet</li> <li>- ACC kann aktiviert werden (Standby)</li> <li>- ACC-System regelt</li> <li>- Fahrer übersteuert mit Gaspedal</li> <li>- Fehlermodus</li> </ul>	CAN-Bus
ACC-Zeitlückenverstellung	Vom Fahrer eingestellter geschwindigkeitsabhängiger Sollabstand [m] des ACC-Systems zum vorausfahrenden Fahrzeug	CAN-Bus
ACC-Wunschgeschwindigkeit	Vom Fahrer eingestellte Sollgeschwindigkeit [m/s] am Bedienhebel des ACC-Systems	CAN-Bus
Anzahl Zielverluste	Festgestellte Anzahl an Zielverlusten	Videoanalyse / Fahrtprotokoll
Blinker links, rechts	Blinker links bzw. rechts an oder aus	CAN-Bus
Bremslicht	Bremslicht an oder aus	CAN-Bus
Distanz zum vorausfahrenden Fahrzeug	Abstand zum vorausfahrenden Zielfahrzeug [m]	CAN-Bus
Gaspedalbetätigung	von 0 % ... 100 %	CAN-Bus
Kilometerstand	Fahrzeuginterner Kilometerstand [km]	CAN-Bus
Kurvenkrümmung	Kurvenkrümmung [1/m]	CAN-Bus

Messfaktor bzw. -größe	Beschreibung	Erhebungsmethode
Objektive Daten		
Lenkradwinkel	Lenkradwinkel [°]	CAN-Bus
Referenzlängsbeschleunigung	Tatsächliche Fahrzeuglängsbeschleunigung [ $m/s^2$ ]	CAN-Bus
Referenzquerbeschleunigung	Tatsächliche Fahrzeugquerbeschleunigung [ $m/s^2$ ]	CAN-Bus
Referenzgeschwindigkeit	Tatsächliche Fahrzeuggeschwindigkeit [m/s]	CAN-Bus
Relativgeschwindigkeit zum vorausfahrenden Fahrzeug	Geschwindigkeitsunterschied zum vorausfahrenden Zielfahrzeug [m/s]	CAN-Bus
Referenzzeit	Zeit zur Synchronisierung von CAN-Bus und Videodaten [h:m:s:hs]	CAN-Bus
Sollbeschleunigung	Soll-Fahrzeugbeschleunigung [ $m/s^2$ ]	CAN-Bus

## 10.4 Statistische Methoden

### 10.4.1 Allgemeines zu statistischen Testverfahren

Ein statistischer Test dient dazu, eine Hypothese bzgl. einer Stichprobe auf Signifikanz zu untersuchen. Signifikanz bedeutet hierbei, dass die Hypothese bei einer gewissen festgelegten Irrtumswahrscheinlichkeit nicht mehr mit der Stichprobe vereinbar ist. Es gibt zwei Arten von statistischen Testverfahren: parametrische und nichtparametrische. Für parametrische Tests werden in der Regel Annahmen über Verteilung und Skalenniveau benötigt, nichtparametrische Tests verlangen meist nichts außer Stetigkeit der Verteilung. Sie können aber auch im diskreten Fall angewendet werden, wenn es nicht zu wenige Bindungsgruppen<sup>125</sup> gibt und diese nicht zu groß sind. Dies ist bei Messdaten gewährleistet, wenn sie genau genug gemessen werden, also die Anzahl der genauen Nachkommastellen groß genug ist. Kann etwa von einer Normalverteilungsannahme<sup>126</sup> ausgegangen werden, sind parametrische Tests wegen ihrer besseren Testgüte<sup>127</sup> zu bevorzugen. Ist dies nicht der Fall, sind nichtparametrische Tests vorzuziehen. Im Wesentlichen werden in dieser Untersuchung nichtparametrische Tests zum Einsatz kommen. Ein weiteres Kriterium betrifft die Art der Stichproben im Zweistichprobenfall. Zwei Stichproben heißen verbunden, wenn je eine Beobachtung der einen Stichprobe genau einer Beobachtung der anderen Stichprobe entspricht<sup>128</sup>. Verbundene Stichproben haben eine höhere Güte. Messdaten dieser Untersuchung stellen meistens unverbundene Stichproben dar, während die Antworten aus dem Fragebogen in der Regel verbundene Stichproben sind.

Zur Anwendung eines statistischen Tests besteht die Forderung, folgende Punkte zu beachten:

1. Aufstellen der Nullhypothese  $H_0$  und der Alternativhypothese  $H_1$ .
2. Berechnung der Testgröße aus der Stichprobe .
3. Berechnung des  $p$ -Wertes der Testgröße oder Bestimmen des kritischen Bereiches  $K$  zum Signifikanzniveau  $\alpha$  . In der Regel sind die  $p$ -Werte bzw. die Werte für den kritischen Bereich in entsprechenden Tabellen der Statistikliteratur abzulesen, da sie für die meisten Verteilungen nicht ohne größeren Aufwand zu berechnen sind.
4. Herbeiführen der Testentscheidung:
  - 4.1 anhand des  $p$ -Wertes: Ablehnen der Nullhypothese falls  $p\text{-Wert} < \alpha$  oder  $p\text{-Wert} > 1 - \alpha$  , falls es sich um eine zweiseitige Fragestellung handelt. Unter einer zweiseitigen Fragestellung ist in der Regel die Überprüfung auf Gleichheit bzw. Unabhängigkeit zweier Merkmale

---

<sup>125</sup> Eine Bindungsgruppe besteht aus allen Elementen der Stichprobe, die denselben Wert besitzen.

<sup>126</sup> Eine Normalverteilungsannahme kann z.B. mit einem Kolmogoroff-Smirnov-Test überprüft werden.

<sup>127</sup> Testgüte steht für den Fehler 2. Art, siehe Tabelle Fehlerarten bei Signifikanztest.

<sup>128</sup> Sachs: Angewandte Statistik, 2004, S. 406

zu verstehen. Bei der einseitigen Fragestellung wird zusätzlich noch festgelegt, welches der beiden Merkmale das größere ist. Bei der einseitigen Fragestellung wird die Nullhypothese bei einem  $p$ -Wert  $< \alpha$  abgelehnt. Es ist zu beachten, dass je nach Art der Fragestellung verschiedene Tabellen für das Ablesen der  $p$ -Werte zu benutzen sind.

4.2 anhand der Testgröße an sich: Ablehnen der Nullhypothese falls Testgröße  $\in K$ .

Interessiert den Anwender des Tests mit welchem Signifikanzniveau die Hypothese hätte noch angenommen bzw. verworfen werden können, so ist der  $p$ -Wert zu berechnen. Der  $p$ -Wert ist demnach gleich der Wahrscheinlichkeit, sich zu irren, wenn das beobachtete Ergebnis für gültig, also für repräsentativ erklärt wird.

Die Auswirkungen der Wahl des Signifikanzniveaus listet die folgende Tabelle auf:

*Tabelle 10-7: Fehlerarten bei dem Signifikanztest*

	H0 ist zutreffend	H1 ist zutreffend
H0 wird abgelehnt	Fehler 1. Art	richtige Entscheidung
H1 wird abgelehnt	richtige Entscheidung	Fehler 2. Art

Die Wahrscheinlichkeit für einen Fehler 1. Art wird direkt durch das Signifikanzniveau  $\alpha$  vorgegeben. Die Wahrscheinlichkeit für einen Fehler 2. Art wird durch die Testgüte beschrieben. Standardmäßig wird  $\alpha = 0,05$ ,  $\alpha = 0,01$  oder  $\alpha = 0,001$  gewählt. Ein Verwerfen der Nullhypothese wird dann entsprechend mit signifikant, hoch signifikant und höchst signifikant bezeichnet.

### 10.4.2 Signifikanztests

Im Folgenden werden die in dieser Arbeit angewandten Methoden erläutert. Wie bereits erwähnt, ist das Ziel der statistischen Methoden das Verwerfen der Nullhypothese. Dies geschieht durch Bestimmung eines  $p$ -Wertes, der die Überschreitungswahrscheinlichkeit beschreibt mit der sich unter der Nullhypothese die gefundenen oder noch extremere Ereignisse einstellen. Die Entscheidung, ob eine Hypothese abzulehnen ist, hängt vom Vergleich des  $p$ -Wertes mit dem zuvor festgelegten Signifikanzniveau  $\alpha$  ab, für das der in der Statistik verwendete Standardwert von 5 % gewählt wurde. Das Signifikanzniveau bezeichnet hierbei die Wahrscheinlichkeit mit der die Nullhypothese verworfen wird obwohl diese wahr ist. Eine Hypothese ist abzulehnen, so bald der  $p$ -Wert unter dem Signifikanzniveau liegt. Die Ergebnisse werden je nach Größe des  $p$ -Wertes in „signifikant“ ( $p = 5\%$ ), „hochsignifikant“ ( $p = 1\%$ ) und „höchstsignifikant“ ( $p = 0,1\%$ ) eingeteilt.

- **Chi-Quadrat-Test ( $\chi^2$ -Test) auf Unabhängigkeit:**

Test zur Untersuchung der Unabhängigkeit zweier Merkmale aufgrund ihrer Auftretshäufigkeit. Hiermit lässt sich unter anderem ermitteln, ob die Erfolgsrate zweier Systeme unter-

schiedlich ist. Bezogen auf diese Arbeit, kann mit diesem Verfahren beispielsweise ermittelt werden, ob zwischen dem Sichtbereich und einem bestimmten aufgetretenen Merkmal ein Zusammenhang besteht.

Tabelle 10-8: Vierfeldertabelle für Chi-Quadrat-Test

	±4°-Version	±8°-Version	Zeilensumme
Erfolg	n <sub>11</sub>	n <sub>12</sub>	n <sub>1.</sub>
Kein Erfolg	n <sub>21</sub>	n <sub>22</sub>	n <sub>2.</sub>
Spaltensumme	n <sub>.1</sub>	n <sub>.2</sub>	n

Für kleine Stichproben ( $n \leq 30$ ) wird die Prüfgröße anhand nachfolgender Formel berechnet:

$$\chi^2 = \frac{(|n_{11} \cdot n_{22} - n_{12} \cdot n_{21}| - \frac{n}{2})^2 \cdot n}{n_{1.} \cdot n_{2.} \cdot n_{.1} \cdot n_{.2}} \quad (10.1)$$

Mit Hilfe des EXCEL-Befehls „CHIVERT ( $\chi^2$ ; Freiheitsgrade = 1)“ wird der der Prüfgröße entsprechende  $p$ -Wert berechnet.

- **Binomialtest für verbundene Stichproben:**

Diese Methode wird für die Auswertung der Fragebogenantworten angewendet (Anhang 10.4.4).

- **Wilcoxon- Rangsummentest:**

Dieser Test wird zur Überprüfung auf Gleichheit der Streuung eines betrachteten Merkmals zweier Stichproben verwendet. Zur Berechnung empfiehlt sich der Matlab-Befehl

„[ $p, h$ ] = ranksum (Stichprobe1, Stichprobe 2,  $\alpha$ )“,

der den  $p$ -Wert und das Ergebnis zur Verwerfung der Nullhypothese liefert.

- **Multiple Regressionsanalyse:**

Mit dieser Methode wird der Zusammenhang zwischen mehr als zwei Variablen beschrieben um Aussagen über eine als abhängig angesehene Variable  $Y$  treffen zu können, die nicht nur von  $X_1$  sondern auch von  $X_2$  und eventuellen weiteren Variablen abhängt. Die Modellfunktion nach dem Modell der linearen Regression lautet:

$$Y = X\beta + u \quad (10.2)$$

bzw. in Matrix- Schreibweise:

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u_1 \\ \vdots \\ u_n \end{pmatrix} \quad (10.3)$$



Der Vektor  $u_i$  repräsentiert die Störgröße, die nicht erfassbare Einflüsse, wie beispielsweise Messungenauigkeiten, berücksichtigt. Über einen Signifikanztest lässt sich überprüfen, ob der Einfluss der Variablen  $X_j$  auf  $Y$  signifikant ist oder nicht. Ein signifikanter Einfluss ist jedoch nicht gleichbedeutend mit einem starken Einfluss. Es geht hierbei vielmehr um das Vorzeichen des Koeffizienten, das einen Hinweis auf die Richtung des Einflusses gibt. Wird beispielsweise für einen Parameter  $X_1$  ein Koeffizient mit positivem Vorzeichen ermittelt, so bedeutet dies, dass der Wert der abhängigen Variable  $Y$  mit positiven  $X_1$  zunimmt und bei negativem  $X_1$  abnimmt. Der  $p$ -Wert und das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  lassen sich in diesem Fall am einfachsten mit EXCEL berechnen. Das Bestimmtheitsmaß gibt die Güte der gewählten Parameter wieder, indem es das Maß der Zielgröße angibt, das auf die Werte der Einflussgrößen zurückzuführen ist.  $R^2 = 0,95$  bedeutet, dass 95 % der Zielgröße  $Y$  auf die Werte der Einflussgrößen zurückführbar sind. Ein kleines  $R^2$  steht nicht im Widerspruch zu den Ergebnissen des Signifikanztests. Es signalisiert, dass trotz Signifikanz nicht viel an der abhängigen Variable  $Y$  erklärt werden kann.

### 10.4.3 Deskriptive Statistik

- **Skalenniveau**

Das Skalenniveau bestimmt die (mathematischen) Operationen oder Transformationen, die mit einer entsprechend skalierten Variablen zulässig sind ohne Information zu verlieren bzw. zu verändern, welche Information das entsprechende Merkmal liefert und welche Interpretationen, die Ausprägungen des entsprechenden Merkmals zulassen. Dabei können Operationen, die bei Variablen eines bestimmten Skalenniveaus zulässig sind, grundsätzlich auch auf Variablen aller höheren Skalenniveaus durchgeführt werden. Dabei werden grundsätzlich vier Skalenniveaus unterschieden<sup>129</sup>:

- 1.) Nominalskala

Bei nominalskalierten Merkmalen wird der Untersuchungseinheit für das entsprechende Merkmal (genau) ein Name bzw. (genau) eine Kategorie zugeordnet. Für die Namen oder Kategorien werden dabei oft auch Zahlen verwendet. Mathematische Operationen sowie Größenvergleiche sind bei nominalskalierten Merkmalen nicht anzuwenden. Möglich ist das Bestimmen von Auftrittshäufigkeiten der Kategorien in einer Menge von Untersuchungsobjekten. Beispiele für nominalskalierte Merkmale sind Jahreszeiten oder Farben.

- 2.) Ordinalskala

Ähnlich wie bei der Nominalskala wird hierbei auch für das entsprechende Merkmal (genau) ein Name bzw. (genau) eine Kategorie zugeordnet. Hier lassen sich die einzelnen Kategorien/Namen in eine Reihenfolge bringen. Für die Namen oder Katego-

---

<sup>129</sup> Bortz: Statistik Bortz, 1979, S. 26ff

rien werden dabei oft auch Zahlen verwendet. Allerdings lassen sich die Abstände zwischen den einzelnen Kategorien nicht sinnvoll interpretieren. Erlaubt sind alle Transformationen mittels streng monoton steigender Funktionen. Ebenfalls möglich sind Verteilungsdarstellungen, wobei als zentrale Tendenz der Median und als Streuungsmaß der Interquartilsabstand zu verwenden sind. Beispiele für ordinalskalierte Merkmale sind Schulnoten oder die Zufriedenheit eines Probanden auf einer 5er oder 7er Skala zwischen sehr unzufrieden bis sehr zufrieden. Die meisten Fragebogenantworten in dieser Arbeit sind ordinalskaliert.

### 3.) Intervallskala

Bei intervallskalierten Merkmalen lassen sich zusätzlich zu den Eigenschaften der Ordinalskala die Abstände zwischen den verschiedenen Merkmalsausprägungen exakt bestimmen. Allerdings existiert kein natürlicher Nullpunkt für die Skala. Willkürlich definierte Nullpunkte, wie z.B. bei der Celsius-Temperaturskala, zählen hier nicht als natürlicher Nullpunkt, während der Nullpunkt der Kelvin-Temperaturskala, der dem absoluten Nullpunkt entspricht, ein natürlicher Nullpunkt ist. Zusätzlich zu Größenvergleichen sind Differenzen und Summen aus intervallskalierten Merkmalen anwendbar, da hier die Abstände zwischen den einzelnen Merkmalsausprägungen exakt definiert sind. Damit lassen sich Durchschnittswerte berechnen. Aufgrund des fehlenden Nullpunkts stellt die Multiplikation keine geeignete Operation für intervallskalierte Merkmale dar. Zulässig sind lineare Transformationen der Art  $y = \alpha x + \beta$ .

### 4.) Verhältnisskala

Verhältnisskalierte Merkmale besitzen neben den Eigenschaften von intervallskalierten Merkmalen einen natürlichen Nullpunkt. Beispiele hierfür sind Entfernungen oder die Zeit. Mit Merkmalen, die auf einer Verhältnisskala messen, lassen sich folgende Operationen durchführen:

- Vergleiche auf Identität
- Größenvergleiche
- Additionen, Subtraktionen
- Multiplikationen, Divisionen

Intervall- und Verhältnisskala werden zur Kardinalskala zusammengefasst. Merkmale auf dieser Skala werden dann als "metrisch" bezeichnet. Für metrische Merkmale sind in der deskriptiven Statistik als Maßzahlen der arithmetische Mittelwert und die Standardabweichung zulässig. Wenn große Ausreißer oder starke Unstetigkeiten vorliegen, beschreiben dennoch Median, Quartilsabstände und Spannweite die Daten besser. Die Messdaten, die für den objektiven Vergleich der beiden Systemvarianten in dieser Arbeit herangezogen werden, sind in den meisten Fällen metrisch, werden aber aus diesem Grunde dennoch mit Hilfe des Medianes besser dargestellt.

### • Graphische Darstellungsmöglichkeiten

Als graphische Darstellungsmöglichkeiten von empirischen Verteilungen stehen grundsätzlich das Histogramm und der Box-Whisker-Plot zur Verfügung. Während das Histogramm die empirische Verteilungsform anschaulich darstellt und auch die tatsächlichen Auftrittshäufigkeiten der Beobachtungen numerisch zeigt, eignet sich die eindimensionale Darstellung im Box-Whisker-Plot besser zum Vergleich der Lage- und Streuungsparameter. Es muss je nach Veranschaulichungsziel entschieden werden, welche der beiden Darstellungsformen dafür besser geeignet ist. Die nächste Abbildung zeigt beispielhaft ein Histogramm und einen Box-Whisker-Plot mit Erläuterungen zu den Achsen, wie sie in dieser Arbeit verwendet werden. Hinzuweisen ist auf eine Besonderheit des Box-Whisker-Plots (im Folgenden kurz nur Boxplot genannt): Während bei der Standardausführung der unterste und oberste Strich für die Kennzeichnung der Spannweite benutzt wird, stellen in der hier verwendeten Ausführung die schwarzen Querstriche eine Erweiterung der Box um das 1,5-fache des Interquartilabstandes ( $Q_{75}-Q_{25}$ )<sup>130</sup> dar. Falls Datenpunkte außerhalb dieses Bereiches liegen, werden sie mit einem roten „+“ als Ausreißer gekennzeichnet. Liegt kein Punkt außerhalb, zeigt der Strich die tatsächliche Spannweite an.

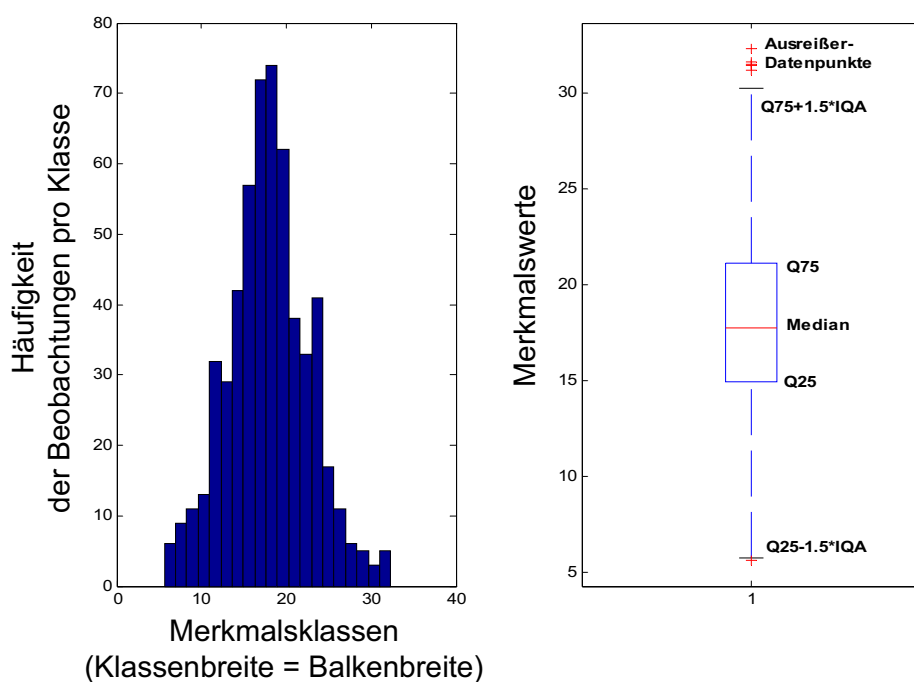


Abbildung 10-1: Beispiel für Histogramm (links) und Box-Whisker-Plot (rechts)

Um die beiden Sichtbereiche zu vergleichen, wurden für diese Untersuchung hauptsächlich Punktaufnahmen, Durchschnittswerte und Stichprobenverteilungen mit ihren Lage- und Dispersionsparameter benötigt. Auf dynamische Betrachtungen der Einzelsituationen, die als

<sup>130</sup> Maß für Streuung bei Verwendung des Medianes als Maß für die zentrale Tendenz. Der Interquartilabstand, definiert als Differenz zwischen dem 75%- und dem 25%-Quantil, gibt an wie stark die mittleren 50% der Verteilung auseinander liegen.

Signalplots über die Zeit darzustellen wären, wurde bewusst verzichtet, da diese kaum in testbare Datensätze umzusetzen sind.

#### 10.4.4 Auswertungsmethodik Fragebogen

Bei vergleichbaren Fragestellungen variiert die Anzahl an Antwortmöglichkeiten zwischen fünf<sup>131</sup> und elf<sup>132</sup> Kategorien, ohne in der Regel eine Begründung für die Festlegung zu nennen. In dieser Versuchsreihe wurde eine Likert fünfstufige Bi-Polar-Antwortskala<sup>133</sup> verwendet, bei der die Probanden zwischen vier Abstufungen wählen konnten. Den Antworten in den Fragebögen werden Werte von 1 bis 5 zugeordnet, wobei 1 = schlechteste Antwortmöglichkeit und 5 = beste Antwortmöglichkeit darstellt.

Untersucht werden nun die Differenzen beider Skalen. Das bedeutet, es werden die Antworten des  $\pm 8^\circ$ -Systems abzüglich der Antworten aus den Fragebögen des  $\pm 4^\circ$ -Systems ( $\pm 8^\circ - \pm 4^\circ$ ) betrachtet. Aus diesen Differenzen ergibt sich dann die in Tabelle 10-9 aufgelistete Häufigkeitsverteilung.

Tabelle 10-9: Häufigkeitsverteilung und Verteilungsfunktion aus den Differenzen

Differenz	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
Relative Häufigkeit	1/25	2/25	3/25	4/25	5/25	4/25	3/25	2/25	1/25
Verteilungsfunktion	0,04	0,12	0,24	0,4	0,6	0,76	0,88	0,96	1

Die Teststatistik setzt sich aus den Null- und Negativdifferenzen zusammen, d.h. das  $\pm 4^\circ$ -System wurde gleich oder besser bewertet als das  $\pm 8^\circ$ -System.

$D^{0-}$  = Anzahl der Null- und Negativdifferenzen.

Aus dieser binomialverteilten Teststatistik lassen sich nun die zu testende Nullhypothese und die daraus resultierende Alternativhypothese ableiten. Unter der Annahme, dass  $B(n;p = 0,6)$  ist, lautet die Nullhypothese wie folgt:

$H_0$ : Mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens 60 % wird die  $\pm 8^\circ$ -Version nicht besser bewertet als die  $\pm 4^\circ$ -Version.

Um nun den Ablehnungsbereich der Nullhypothese zu bestimmen, wird die Binomialverteilung für  $B(30;p = 0.6)$  in der nachfolgenden Tabelle betrachtet. Anhand dieser ist erkennbar, dass bis zu 13 Probanden das  $\pm 4^\circ$ -System verglichen mit dem  $\pm 8^\circ$ -System besser oder gleich bewerten können, um bei einem Signifikanzniveau von 5 % die Nullhypothese dennoch signifikant verwerfen zu können  $D^{0-} = \{0 < X \leq 13\}$ .

<sup>131</sup> Philippe: Methodology to evaluate automotive seat comfort, 1995, S. 231ff

<sup>132</sup> Shackel et. al.: The assessment of chair comfort, 1969, S. 269ff

<sup>133</sup> Didier: Verfahren zur Messung des Komforts bei Abstandsregelsystemen, 2006, S. 49

Tabelle 10-10: Binomialverteilung bei  $n = 30$  Probanden und  $p = 0,6$ 

X	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$B_{30;0,6}$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,008	0,021	0,048	0,097
15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0,175	0,286	0,422	0,569	0,709	0,824	0,906	0,957	0,983	0,994	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Dem in der Analyse für die Einteilung der Probanden in Klassen genutzten Binomialtest liegen Wahrscheinlichkeitsverteilungen zugrunde, die aus den geänderten Grundgesamtheiten resultieren. Die Klasse „zügige Fahrer“ umfasst 17 Probanden, die Klasse „komfortbetonte Fahrer“ 13 Versuchsteilnehmer. Die Verteilung der einzelnen Eintrittswahrscheinlichkeiten der Klasse „zügige Fahrer“ ist Tabelle 10-11 zu entnehmen.

Tabelle 10-11: Binomialverteilung für  $n = 17$  Probanden und  $p = 0,6$ 

X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$B_{17;0,6}$	0,000	0,000	0,000	0,003	0,011	0,035	0,092	0,199	0,359	0,552	0,736	0,874	0,954	0,988

Bis zu sechs Probanden können die  $\pm 8^\circ$ -Version schlechter oder gleich gut wie die  $\pm 4^\circ$ -Version bewerten, um eine Nullhypothese signifikant zu verwerfen. Bei der Klasse der „komfortbetonten Fahrer“ verringert sich die Anzahl der Probanden, die die  $\pm 8^\circ$ -Version verglichen mit der  $\pm 4^\circ$ -Version schlechter oder gleich gut bewerten können auf eine Zahl von vier Personen. Die Verteilung der einzelnen Eintrittswahrscheinlichkeiten der Klasse „komfortbetonte Fahrer“ ist Tabelle 10-12 zu entnehmen.

Tabelle 10-12: Binomialverteilung für  $n = 13$  Probanden und  $p = 0,6$ 

X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$B_{13;0,6}$	0,000	0,001	0,008	0,032	0,098	0,229	0,426	0,647	0,831	0,942	0,987	0,999	1,000

## 10.5 Charakteristik Versuchsstrecke

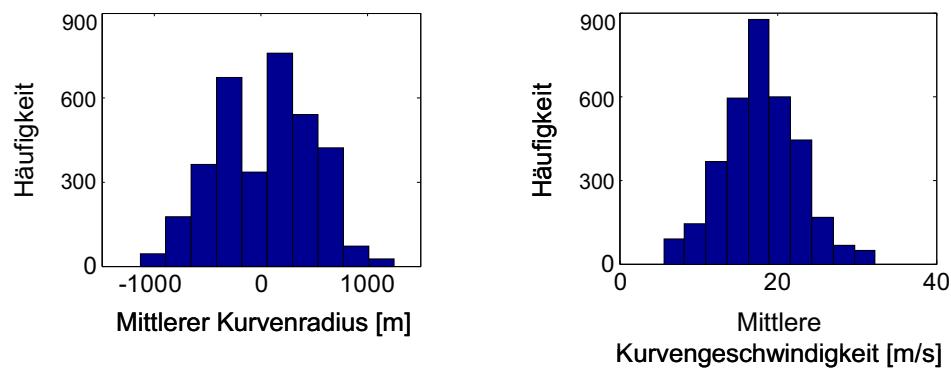


Abbildung 10-2: Verteilung der mittleren Kurvenradien (negativ = Rechtskurve) und Kurvengeschwindigkeiten über alle Versuchsfahrten

Tabelle 10-13: Verkehrsbelastung und Anzahl der Fahrstreifen der Versuchsstrecke<sup>134</sup>

Bezeichnung Straßentyp	Verkehrsbelastung in 1000 Kfz/Tag	Anzahl Fahrstreifen	Länge [km]
B3	32	1-2	3
B26	34	2	16
B45	25	2	30
B47	Keine Angabe	1	21
B469	Keine Angabe	1-2	43
A3	100-150	3-4	43
A5	90-110	3-4	14
A67	81	2	24

<sup>134</sup> Hessisches Straßenamt für Straßen und Verkehrswesen: Verkehrsmengenkarte, 2000

## 10.6 Ergebnisse Subjektiveindruck der Probanden

### 10.6.1 Annäherungsfahrt

Aufgrund der Ergebnisse des Vorversuchs wird die Annahme getroffen, dass eine Erweiterung des horizontalen Sichtbereichs keinen signifikanten Einfluss auf die Erkennung vorausfahrender Fahrzeuge hat. Die Frage C2 befasst sich mit der Erkennung von vorausfahrenden Fahrzeugen auf dem eigenen geraden Fahrstreifen. Die Nullhypothese lautet: *Ein von  $\pm 4^\circ$  auf  $\pm 8^\circ$  erweiterter horizontaler Sichtbereich führt nicht zu einer rechtzeitigeren Erkennung von vor einem fahrenden Fahrzeugen auf dem eigenen geraden Fahrstreifen.* Die Beurteilungsskala reicht von „spät“ bis „rechtzeitig“.

#### 10.6.1.1 Erkennung von vorausfahrenden Fahrzeugen auf dem eigenen geraden Fahrstreifen („zügige Fahrer“)

Die Versuchsteilnehmer beurteilen diese Situation wie in Tabelle 10-14 dargestellt.

Tabelle 10-14: Ergebnisse zur Frage C2 (Erkennung Fahrzeuge auf eigenem geraden Fahrstreifen, zügige Fahrer)

C2 zügig	1 (spät)	2	3	4	5 (rechtzeitig)	
$\pm 4^\circ$	0	1	5	7	4	
$\pm 8^\circ$	0	1	3	8	5	
Differenz	-	0	+	D <sup>0-</sup>	p- Wert	H
$\pm 8^\circ - \pm 4^\circ$	3	9	5	12	0,874	0

Wie zu Beginn der Versuchreihe angenommen, werden beide Varianten nahezu identisch bewertet, was an der Anzahl von 9 Nulldifferenzen zu sehen ist. 11 von 17 „zügigen Fahrern“ geben an, dass die  $\pm 4^\circ$ -Version ein vorausfahrendes Fahrzeug auf dem eigenen Fahrstreifen rechtzeitig erkennt. Im Vergleich dazu wird das  $\pm 8^\circ$ -System mit 13 Stimmen geringfügig besser bewertet.

#### 10.6.1.2 Erkennung von vorausfahrenden Fahrzeugen auf dem eigenen geraden Fahrstreifen („komfortbetonte Fahrer“)

Die Nullhypothese kann bei dieser Fahrerklasse ebenso nicht widerlegt werden, begründet durch eine zu hohe Anzahl an Nulldifferenzen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 13-15 aufgeführt.

Table 10-15: Ergebnisse zur Frage C2 (Erkennung Fahrzeuge auf eigenem geraden Fahrstreifen, komfortorientierte Fahrer)

C2 Komfort	1 (spät)	2	3	4	5 (rechtzeitig)	
$\pm 4^\circ$	0	3	2	5	3	
$\pm 8^\circ$	0	2	1	6	4	
Differenz	-	0	+	D <sup>0-</sup>	p-Wert	H
$\pm 8^\circ - \pm 4^\circ$	/	11	2	11	0,987	0

## 10.6.2 Einschersituation

Die Fragen C7 und C8 beinhalten Fragestellungen bezüglich vorgekommener Einschersituationen auf gerader Strecke. Bei der Untersuchung wird zwischen Nah- (Frage C7) und Fernbereich (Frage C8) differenziert. Mit *Nahbereich* werden Situationen bis ca. 20 m Entfernung zum eigenen Fahrzeug und mit *Fernbereich* Einschersituationen in einer Entfernung über 20 m bezeichnet. Die Nullhypothese lautet: *Durch den von  $\pm 4^\circ$  auf  $\pm 8^\circ$  erweiterten horizontalen Sichtbereich werden Fahrzeuge in Einschersituationen für den Probanden auf Geraden im Nah-/ Fernbereich nicht früher erkannt* (Hypothese 4b). Es sind die Antworten von „spät“ bis „rechtzeitig“ möglich.

### 10.6.2.1 „Zügige Fahrer“

Es ist kein signifikanter Unterschied im Nahbereich aufgrund der hohen Anzahl an Nulldifferenzen bei beiden Sichtbereichsversionen festzustellen, jedoch beurteilen 8 von 17 Probanden die  $\pm 8^\circ$ -Version besser.

Table 10-16: Ergebnisse zur Frage C7 (Einschersituation Nahbereich, zügige Fahrer)

C7 zügig	1 (spät)	2	3	4	5 (rechtzeitig)	
$\pm 4^\circ$	5	3	7	2	0	
$\pm 8^\circ$	3	3	4	5	2	
Differenz	-	0	+	D <sup>0-</sup>	p-Wert	H
$\pm 8^\circ - \pm 4^\circ$	1	8	8	9	0,359	0

Im Fernbereich werden beide Versionen sehr ähnlich bewertet. Dies ist an der hohen Anzahl an vorkommenden Nulldifferenzen und an dem ausgewogenen Verhältnis an Bewertungsunterschieden („-“ und „+“) beider Versionen zu erkennen. Anhand der abgegebenen positiven Stimmen für beide Versionen wird festgestellt, dass die Versuchsteilnehmer sowohl mit der  $\pm 4^\circ$ - als auch mit der  $\pm 8^\circ$ -Version das Erkennen von Einschern im Fernbereich als rechtzeitig empfinden.



Tabelle 10-17: Ergebnisse zur Frage C8 (Einschersituation Fernbereich, zügige Fahrer)

C8 zügig	1 (spät)	2	3	4	5 (rechtzeitig)	
± 4°	0	0	3	8	6	
± 8°	0	1	3	4	9	
Differenz	-	0	+	D <sup>0-</sup>	p- Wert	H
± 8° - ± 4°	3	10	4	13	0,954	0

### 10.6.2.2 „Komfortbetonte Fahrer“

Bei den Einschersituationen im Nahbereich beurteilt die Klasse der „komfortbetonten“ Probanden beide Sichtbereichsversionen auf einem ähnlichen Niveau. Dies ist an der hohen Anzahl von neun Nulldifferenzen aus Tabelle 10-18 zu erkennen.

In drei Fällen wird das ±8°-System im Vergleich zum ±4°-System als besser bezeichnet. Die Nullhypothese kann nicht signifikant verworfen werden.

Tabelle 10-18: Ergebnisse zur Frage C7 (Einschersituation Nahbereich, komfortorientierte Fahrer)

C7 Komfort	1 (spät)	2	3	4	5 (rechtzeitig)	
± 4°	4	4	2	2	1	
± 8°	4	2	1	5	1	
Differenz	-	0	+	D <sup>0-</sup>	p- Wert	H
± 8° - ± 4°	1	9	3	10	0,942	0

Im Fernbereich wird bei beiden gefahrenen Sichtbereichsversionen das Regelverhalten des ACC Systems bezüglich einschender Fahrzeuge von mehr als 75 % der „komfortbetonten Fahrer“ als positiv beurteilt. Die aufgestellte Nullhypothese kann aufgrund der großen Anzahl an Gleichbewertungen nicht signifikant verworfen werden. Die Beurteilungen der „komfortbetonten Fahrer“ sind in Tabelle 10-19 dargestellt.

Tabelle 10-19: Ergebnisse zur Frage C8 (Einschersituation Fernbereich, komfortorientierte Fahrer)

C8 Komfort	1 (spät)	2	3	4	5 (rechtzeitig)	
± 4°	0	0	3	7	3	
± 8°	0	0	2	8	3	
Differenz	-	0	+	D <sup>0-</sup>	p- Wert	H
± 8° - ± 4°	/	12	1	12	0,999	0

### 10.6.3 Beschleunigungsverhalten

Bei Frage C12 reicht die Bewertungsskala von „zu früh“ bis „zu spät“, bei Frage C13 von „zu schwach“ bis „zu stark“.

#### 10.6.3.1 „Zügige Fahrer“

Aus den Werten der nachfolgenden Tabelle wird entnommen, dass die Gruppe der „zügigen Fahrer“ bei Bewertungen bezüglich des Beschleunigungsbeginns bei dem Überholen zwischen der  $\pm 4^\circ$ - und  $\pm 8^\circ$ -Version fast nicht differenziert. Bei beiden getesteten Sichtbereichsversionen wird der Beginn der Beschleunigung bei Überholvorgängen als tendenziell zu spät beurteilt. Manche Probanden äußerten während der Fahrt, dass sie sich in manchen Situationen, beispielsweise bei dem Wechsel auf den linken Fahrstreifen während des Autobahnabschnitts, als Verkehrshindernis fühlten. Oftmals reagierten die Probanden mit einem Eingriff in das Regelverhalten und übersteuerten das System durch selbstständiges Gasgeben. Lediglich 3 Probanden empfinden bei der  $\pm 4^\circ$ -Version den Zeitpunkt des Beschleunigungsbeginns als genau richtig, bei der  $\pm 8^\circ$ -Version sind nur 2 Fahrer dieser Meinung.

Tabelle 10-20: Ergebnisse zur Frage C12 (Beschleunigungsbeginn, zügige Fahrer)

C12 zügig	1 (zu früh)		2	3	4	5 (zu spät)	
$\pm 4^\circ$	0		1	3	8	5	
$\pm 8^\circ$	0		0	2	11	4	
Differenz	-	0	+	D <sup>0-</sup>	p-Wert	H	
$\pm 8^\circ - \pm 4^\circ$	2		11	4	13	0,954	0

Bei der Beurteilung des Beschleunigungsgradienten bzw. der absoluten Höhe wird ebenfalls nicht zwischen beiden Versionen differenziert. Allerdings sind bei der  $\pm 4^\circ$ -Version knapp 30 % und bei der  $\pm 8^\circ$ -Version 41 % der Fahrer mit der Beschleunigung des Systems vollkommen zufrieden. Die restlichen Probanden sind tendenziell der Meinung, dass eine Erhöhung der aktuellen Beschleunigungswerte besser sei. Die Werte sind in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 10-21: Ergebnisse zur Frage C13 (Beschleunigung, zügige Fahrer)

C13 zügig	1 (zu schwach)		2	3	4	5 (zu stark)	
$\pm 4^\circ$	4		5	5	2	1	
$\pm 8^\circ$	4		4	7	2	0	
Differenz	-	0	+	D <sup>0-</sup>	p-Wert	H	
$\pm 8^\circ - \pm 4^\circ$	2		13	2	15	0,998	0

### 10.6.3.2 „Komfortbetonte Fahrer“

Bei der  $\pm 4^\circ$ -Version empfinden 7 Probanden und bei der  $\pm 8^\circ$ -Version 5 Probanden den Beschleunigungsbeginn bei dem Überholen als genau den richtigen Zeitpunkt. Allerdings wird der Zeitpunkt des Beschleunigungsbeginns tendenziell als zu spät beurteilt. Auch bei diesem Untersuchungsgegenstand ist kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Varianten festzustellen.

Tabelle 10-22: Ergebnisse zur Frage C12 (Beschleunigungsbeginn, komfortorientierte Fahrer)

C12 Komfort	1 (zu früh)	2	3	4	5 (zu spät)	
$\pm 4^\circ$	0	0	7	4	2	
$\pm 8^\circ$	0	0	5	5	3	
Differenz	-	0	+	D <sup>0-</sup>	p- Wert	H
$\pm 8^\circ - \pm 4^\circ$	1	8	4	9	0,831	0

Bezüglich der Beschleunigungsintensität ist keine Differenzierung durch eine Variation des horizontalen Sichtbereichs zu erkennen. Die Intensität der Beschleunigung wird bei beiden Versionen von 46 % der Versuchsteilnehmer als genau richtig bezeichnet. Bei den restlichen Fahrern ist kein Trend zu erkennen. Die von der Gruppe der „komfortbetonten Fahrer“ abgegebenen Beurteilungen sind nachfolgender Tabelle zu entnehmen. Eine Beurteilung mit dem Wert „3“ bedeutet, dass die Beschleunigungsintensität als *genau richtig* empfunden wird.

Tabelle 10-23: Ergebnisse zur Frage C13 (Beschleunigung, komfortorientierte Fahrer)

C13 Komfort	1 (zu schwach)	2	3	4	5 (zu stark)	
$\pm 4^\circ$	1	3	6	2	1	
$\pm 8^\circ$	1	2	6	3	1	
Differenz	-	0	+	D <sup>0-</sup>	p- Wert	H
$\pm 8^\circ - \pm 4^\circ$	2	7	4	9	0,831	0

### 10.6.4 Bremsverhalten

Die Fragen C14 und C15 behandeln das Bremsverhalten des verwendeten ACC-Systems. Frage C14 gibt Aufschluss über die Erwartungen der Probanden bezüglich des Bremsbeginns bei der Annäherung an ein Zielfahrzeug. Die Beurteilung der Probanden, wie sie die Bremsintensität empfunden haben, wird in Frage C15 ermittelt. Bei Frage C14 reicht die Bewertungsskala von „zu früh“ bis „zu spät“, bei Frage C15 von „zu schwach“ bis „zu stark“.

### 10.6.4.1 „Zügige Fahrer“

Aus den Antworten der Probanden aus unten stehender Tabelle wird entnommen, dass das zeitliche Einsetzen der Bremswirkung bei beiden Sichtbereichsversionen bei mehr als 50 % der Fahrer zu spät ist und nicht signifikant unterschiedlich wahrgenommen wird.

Tabelle 10-24: Ergebnisse zur Frage C14 (Bremsbeginn, zügige Fahrer)

C14 zügig	1 (zu früh)		2	3	4	5 (zu spät)
± 4°	1		2	4	8	2
± 8°	0		3	5	9	0
Differenz	-		0	+	D <sup>0-</sup>	p- Wert
± 8° - ± 4°	4		10	3	14	0,998

Ein Großteil der Fahrer dieser Klasse ist mit der Intensität, mit der das ACC-System die Geschwindigkeit reduziert, zufrieden und empfindet diese als genau richtig. Dennoch sehen 7 von 15 Probanden bei der Fahrt mit der ±4°-Version und 6 von 15 Probanden bei der ±8°-Version die Bremsintensität als zu stark an. Gerade bei höheren Geschwindigkeiten ab 100 km/h äußerten die Probanden, dass über das Regelsystem die Geschwindigkeit im Fahrzeug früher und sanfter zu reduzieren ist. Die Antworthäufigkeiten sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 10-25: Ergebnisse zur Frage C15 (Bremsintensität, zügige Fahrer)

C15 zügig	1 (zu schwach)		2	3	4	5 (zu stark)
± 4°	0		2	8	5	2
± 8°	0		1	10	5	1
Differenz	-		0	+	D <sup>0-</sup>	p- Wert
± 8° - ± 4°	3		12	2	15	0,998

### 10.6.4.2 „Komfortbetonte Fahrer“

Der Bremsbeginn wird von keinem der Probanden als zu früh eingestuft und der Trend geht in Richtung zu spät, d.h. bei der ±4°-Version vertreten 8 von 13 und bei der ±8°-Version 6 von 13 Probanden diese Meinung.

Tabelle 10-26: Ergebnisse zur Frage C14 (Bremsbeginn, komfortorientierte Fahrer)

C14 Komfort	1 (zu früh)		2	3	4	5 (zu spät)
± 4°	0		0	5	7	1
± 8°	0		0	7	4	2
Differenz	-		0	+	D <sup>0-</sup>	p- Wert
± 8° - ± 4°	3		8	2	11	0,987

Die Angaben der Probanden stimmen mit den geäußerten Kommentaren während der Testfahrten überein. Es besteht kein signifikanter Unterschied bezüglich des Bremsbeginns zwischen beiden getesteten Versionen.

Auf die Bremsintensität wird in Frage C15 eingegangen. Bis auf zwei Probanden empfindet die Gesamtheit der Probanden die Intensität bei dem Bremsvorgang als zu stark. Für die Gruppe der „komfortbetonten Fahrer“ wäre ein früherer Bremsbeginn verbunden mit einem reduzierten Gradienten empfehlenswert. In der nachfolgenden Tabelle sind die Bewertungen der Probanden bezüglich der Bremsintensität abgebildet.

Tabelle 10-27: Ergebnisse zur Frage C15 (Bremsintensität, komfortorientierte Fahrer)

C15 Komfort	1 (zu schwach)	2	3	4	5 (zu stark)	
± 4°	0	2	4	5	2	
± 8°	0	2	6	5	0	
Differenz	-	0	+	D <sup>0-</sup>	p- Wert	H
± 8° - ± 4°	4	9	/	13	1	0

### 10.6.5 Funktionsstörungen

Tabelle 10-28: Ergebnisse zur Frage B4-3 (Empfinden der Probanden bezüglich nicht nachvollziehbarer Reaktionen, Gesamtkollektiv)

B4-3	1 (störend)	2	3	4	5 (nicht störend)	
± 4°	11	11	5	2	1	
± 8°	12	6	10	2	0	
Differenz	-	0	+	D <sup>0-</sup>	p- Wert	H
± 8° - ± 4°	8	13	9	21	0,906	0

### 10.6.6 Verbesserungen bzgl. des ACC-Systemverhaltens

In Tabelle 10-29 ist das Ranking aus Frage B13 bezogen auf die gewünschten Verbesserungen des ACC-Systems aus Probandensicht angegeben. Die „gewichtete Summe“ wird durch die Bestimmungsvorschrift „Anzahl Platz 1“ x 3 + „Anzahl Platz 2“ x 2 + „Anzahl Platz 1“ x 3 gebildet.

		Inwiefern wünschen Sie sich in den folgenden Bereichen eine <b>Verbesserung des ACC-Systems?</b> Bitte kennzeichnen Sie zusätzlich <b>die drei wichtigsten Punkte mit 1,2,3</b> in den dafür vorgesehenen Kästchen am Ende der Zeile (1=am wichtigsten)!							
B 13	Bei dem Beschleunigungsverhalten	keine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	sehr starke	<input type="checkbox"/>
	Bei dem Bremsverhalten	keine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	sehr starke	<input type="checkbox"/>
	Bei dem Abstandsregelverhalten	keine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	sehr starke	<input type="checkbox"/>
	Bei der Erkennung von Zielfahrzeugen auf Geraden	keine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	sehr starke	<input type="checkbox"/>
	Bei der Erkennung von Zielfahrzeugen in Kurven	keine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	sehr starke	<input type="checkbox"/>
	Bei der rechtzeitigen Erkennung potenzieller Zielfahrzeuge	keine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	sehr starke	<input type="checkbox"/>
	Bei der Systemreaktion nach Erfassungsverlust von real noch vorhandenen Zielfahrzeugen	keine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	sehr starke	<input type="checkbox"/>
	Bei der Systemreaktion auf einsicherende Fahrzeuge	keine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	sehr starke	<input type="checkbox"/>
	Bei der Systemreaktion auf aussicherende Fahrzeuge	keine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	sehr starke	<input type="checkbox"/>
	Bei der Nutzbarkeit auch im niedrigen Geschwindigkeitsbereich	keine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	sehr starke	<input type="checkbox"/>
	Nutzbarkeit auf Strecken mit kleineren Kurvenradien (z.B. Landstraßen)	keine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	sehr starke	<input type="checkbox"/>
	Bei den optischen oder akustischen Übernahmeaufforderungen	keine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	sehr starke	<input type="checkbox"/>
Sonstiges: _____	keine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	sehr starke	<input type="checkbox"/>	

Tabelle 10-29: Ergebnisse zur Frage B13 (Ranking der Verbesserungen für das ACC-System)

<b>±4°- Version</b>	B13- 1	B13- 2	B13- 3	B13- 4	B13- 5	B13- 6	B13- 7	B13- 8	B13- 9	B13- 10	B13- 11	B13- 12
Anzahl 1. Platz	4	3	1	0	6	0	5	0	1	2	3	1
Anzahl 2. Platz	1	7	1	0	7	2	1	2	1	1	2	0
Anzahl 3. Platz	1	2	2	1	3	2	2	3	1	5	4	0
Gewichtete Summe	15	25	7	1	35	6	19	17	6	13	17	3
<b>±8°- Version</b>	B13- 1	B13- 2	B13- 3	B13- 4	B13- 5	B13- 6	B13- 7	B13- 8	B13- 9	B13- 10	B13- 11	B13- 12
Anzahl 1. Platz	8	5	1	1	3	1	2	5	0	1	2	0
Anzahl 2. Platz	4	3	1	1	3	3	5	3	3	1	2	0
Anzahl 3. Platz	2	3	2	3	4	4	2	3	2	2	0	2
Gewichtete Summe	34	24	7	8	19	13	18	24	8	7	10	2

## 10.7 Ergebnisse objektiver Messdaten Probandenuntersuchung

### 10.7.1 Kurvenverhalten

#### 10.7.1.1 Vorgehensweise bei der Auswertung der Messdaten

Die Auswertung der Messdaten erfolgt in zwei Schritten: der Situationsidentifikation mit Hilfe der Videodaten des Video-PC und der anschließenden Zuordnung der CAN-Messdaten. Zur Erzielung einer gemeinsamen Zeitbasis aller CAN-Messdaten werden diese auf 20 Hz interpoliert und erhalten einen fortlaufenden Zeitvektor. Dies gewährleistet die eindeutige Zuordnung der Messdaten zu den aus dem Videobild identifizierten Situationen. Aufgrund der geringen Erscheinungshäufigkeit können die Einschersituationen in Kurven auf der kurvenreichen Strecke in dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden<sup>135</sup>.

#### 10.7.1.2 Situationsidentifizierung Kurvensituationen

Für die Eindeutigkeit der Situationsinterpretation ist es wichtig, eine einheitliche Definition für den Beginn und das Ende einer Kurve zugrunde zu legen. Die Basis hierfür bilden die theoretischen Erkenntnisse und Richtlinien der Wissenschaft des Straßenbaus<sup>136</sup>, aus deren Sicht eine Kurve bzw. eine Kurvenfolge mit Hilfe von Klothoiden abgebildet werden kann. Hierbei handelt es sich um eine Bogenform dessen Krümmung sich linear mit der Bogenlänge ändert. Das Bildungsgesetz der Klothoide lautet:

$$A^2 = R \cdot L \quad (10.4)$$

$A$  [m]: Klothoidenparameter,  $R$  [m]: Radius am Ende des Klothoidenabschnitts,

$L$  [m]: Länge der Klothoide bis zum Radius  $R$ .

Ausgehend von diesen Erkenntnissen und dem Vergleich mit den vorliegenden Messdaten, ist die Bestimmung des Kurvenanfangs mit Hilfe des Lenkradwinkels möglich. Dieser ist jedoch anfällig gegenüber hohen Geschwindigkeiten, Seitenwind (ein Effekt, der auf dem betrachteten Abschnitt zu vernachlässigen ist) und Straßenquerneigung<sup>137</sup>. Letzteres erfordert neben der bisherigen Betrachtung im Lageplan auch eine Betrachtung im Höhenplan. Aus fahrdynamischen Gründen werden Kurven in der Regel mit einer Querneigung zur Kurveninnenseite ausgelegt. Die Mindestquerneigung  $q_{min} = 2,5 \%$  im Kreisbogen ist aus Gründen der Entwässerung gleich der Querneigung auf Geraden und erreicht in extremen Fällen  $q_{max} = 8 \%$ . Bei Kurvenfolgen, wie sie auf dem besonders relevanten Streckenabschnitt der B47 (siehe Abbil-

<sup>135</sup> Auf alle 60 Fahrten kamen insgesamt fünf Einschersituationen in Kurven, von denen drei einscherende Motorräder waren.

<sup>136</sup> FGSV: Straßenrichtlinien, 1995

<sup>137</sup> Winner et. al.: ACC Gelbe Seiten, 2002, S. 35ff



dung 5-2) nahezu ausschließlich vorkommen, gibt es gemäß Abbildung 10-3 im Verbindungsstück der beiden Klothoiden einen Abschnitt auf dem die Querneigung Null ist.

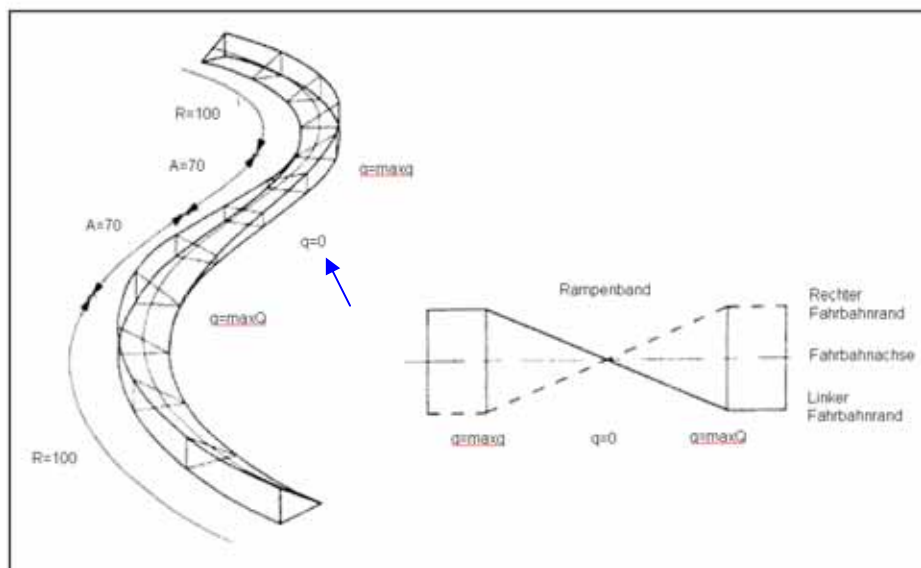


Abbildung 10-3: Beispiel eines kurzen Verwindungsbereichs [ $q=0\%$  durch Pfeil gekennzeichnet] (Quelle: FGSV Straßenrichtlinien, 1995)

Somit unterliegt der Lenkradwinkel keinem Einfluss durch die Straßenquerneigung am Beginn einer Kurve bei einer Kurvenfolge und nur einem geringen Einfluss ( $q_{min} = 2,5\%$ ) bei Kurvenbeginn nach einer Geraden.

Tabelle 10-30: Folgefahrten, Zielverluste und wieder erkannte Zielfahrzeuge

Situationen	Sichtbereichsversion	
	$\pm 4^\circ$	$\pm 8^\circ$
Anzahl Folgefahrten	2.592	2.677
% Folgefahrten / Kurven	97,92	96,68
Anzahl Zielverluste	1.335	442
% Zielverluste / Folgefahrten	51,50	16,51
Anzahl Wiedererkennung Zielobjekte	1.018	281
% Anzahl Wiedererkennung Zielobjekte / Zielverluste	76,25	63,57

Tabelle 10-31: Zielverluste bei Kurvenfahrten in Abhängigkeit des Kurvenradius (Folgefahrten)

Zielverlust in Abhängigkeit des Kurvenradius	Sichtbereichsversion	
	± 4°	± 8°
Anzahl Folgefahrten bei Kurvenradius bis 500 m (FF <sub>500m</sub> )	1.468	1.563
Anzahl Zielverluste bei Kurvenradius bis 500 m (ZV <sub>500m</sub> )	1.112	411
% ZV <sub>500m</sub> / FF <sub>500m</sub>	75,75	26,30
Anzahl Folgefahrten bei Kurvenradius bis 200 m (FF <sub>200m</sub> )	476	553
Anzahl Zielverluste bei Kurvenradius bis 200 m (ZV <sub>200m</sub> )	445	317
% ZV <sub>200m</sub> / FF <sub>200m</sub>	93,49	57,32

Tabelle 10-32: Ausgewählte Merkmale und Ergebnisse einer Regressionsanalyse zur Untersuchung des mittleren Kurvenradius mit Zielverlust

	Koeffizienten	Standardfehler	p- Wert	Signifikanz <sup>138</sup>
$\tau_{set}$	-197,2484	181,2097	0,2765	
Sichtbereichsversion ± 8°	-185,9780	173,7032	0,2845	
V <sub>diff</sub>	4,2990	3,8249	0,2612	
Rechtskurve	207,5298	150,1879	0,1672	
TO <sub>dx</sub>	13,6430	6,0208	0,0236	*
V <sub>rel</sub>	2,9906	8,6432	0,7294	
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0,0049</b>			

## 10.7.2 Annäherungsfahrten

### 10.7.2.1 Situationsidentifizierung Annäherungsfahrten

Annäherungsfahrten treten deutlich seltener auf als Folgefahrten, da diese noch stärker vom allgemeinen Verkehrsgeschehen abhängen und auf eine künstliche Erzeugung dieser Situationen verzichtet wurde. Insgesamt kam es zu 55 Annäherungsfahrten bei der ±4°-Version und zu 92 bei der ±8°-Version wie der Übersicht aus Tabelle 10-33 zu entnehmen ist.

<sup>138</sup> \*= signifikant, \*\*= hochsignifikant, \*\*\*= höchstsignifikant

Tabelle 10-33: Identifizierte Annäherungsfahrten und Ergebnisse eines Wilcoxon-Rangsummentests

Annäherungsfahrten	Sichtbereichsversion		Signifikant ja=1, nein=0	
	± 4°	± 8°	p	H
Anzahl Annäherungsfahrten	55	92		
% Annäherungsfahrten / Kurven	2,08	3,32		
Längsabstand c [m]	59,00	71,46	0,251	0
Erfassungswinkel [°]	3,38	3,06	0,717	0
Dauer Erkennung nach Erfassung [s]	1,08	1,40	0,118	0
Erkennung Längsabstand [m]	53,00	64,50	0,172	0
<b>Erkennungswinkel [°]</b>	<b>3,01</b>	<b>4,53</b>	<b>0,000</b>	<b>1</b>

Aufgrund der geringen Anzahl an identifizierten Situationen kann jedoch nicht davon ausgegangen werden, dass sich die räumliche Lage der potentiellen Zielfahrzeuge gleichmäßig auf beide Versionen verteilt, so dass diese Art des Vergleichs nicht aussagekräftig ist.

Die Formulierung in Hypothese 2a, laut der Fahrzeuge von der ACC-Regelung früher erfasst werden, wird nicht im zeitlichen Sinne verstanden, sondern im Sinne der relativen räumlichen Lage zum ACC-Fahrzeug, die durch den Längsabstand und den Erfassungswinkel definiert ist. Wird ein Fahrzeug früher erkannt, so ist es demnach weiter vom ACC-Fahrzeug entfernt. Zur Untersuchung der Hypothese 2a liefert ein Wilcoxon-Rangsummentest zur Untersuchung der Verteilung des Längsabstands und des Erfassungswinkels die in Tabelle 10-33 aufgeführten Ergebnisse. Bei beiden Kriterien kann mit den ermittelten  $p$ -Werten von 0,251 und 0,717 kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Dies bedeutet nur, dass Fahrzeuge nicht früher erkannt werden. Die Schlussfolgerung, dass diese später oder genauso früh erkannt werden ist bei der Widerlegung einer universellen Hypothese jedoch nicht zulässig.

### 10.7.3 Einscher-/ Ausschersituationen

#### 10.7.3.1 Situationsidentifizierung Einscher-/ Ausschersituationen

Bei der Situationsidentifizierung für einen Einschervorgang war, insbesondere um die Hypothese einer früheren Erkennung zu untersuchen, ein eindeutiger Anfang sowie ein Ende festzulegen. Die Kriterienauswahl erfolgte aus dem Videobild und den Daten der CAN-Signale. Um den Einscherbeginn und das Einscherende festzulegen, bedurfte es eines eindeutigen Kriteriums aus dem Videobild. Eine Einschersituation wurde nur dann notiert, wenn das einscherende Objekt auch als Zielobjekt markiert wurde.

Es wurde folgendes festgelegt:

### **Einscherbeginn:**

Der Einschervorgang von links/rechts aus Sicht des ACC-Fahrzeugs beginnt dann, wenn das rechte/linke Hinterrad des einschierenden Fahrzeugs das erste Mal die eigene Fahrstreifenbegrenzung<sup>139</sup> berührt und dabei überfährt. Das Hinterrad wurde deshalb gewählt, weil es im Gegensatz zum Vorderrad aus dem Videobild meistens klar zu erkennen ist. Auf eine noch präzisere Formulierung bzgl. der Berührung der Fahrstreifenmarkierung wurde bewusst verzichtet, weil insbesondere mit größer werdender Entfernung Fahrstreifen und Hinterrad nicht mehr genau genug erkannt werden können, da die Auflösung des Videobildes begrenzt ist.



Abbildung 10-4: Videobild, Beginn eines Einschervorgangs von links nach rechts

### **Einscherende:**

Als Ende wurde ein Zeitpunkt aus dem Video notiert, an dem das eingescherte Fahrzeug zum einen als Zielobjekt markiert ist, und zum anderen seine Fahrt in der Fahrstreifenmitte stabilisiert<sup>140</sup> hat und keine Aussicht mehr auf einen Fahrereingriff mit der Absicht der Kollisionsverhinderung besteht.

Die Festlegung des Endes richtete sich allerdings danach aus, in jedem Fall keine auftretenden Fahrereingriffe infolge von Einschersituationen zu versäumen. Die Festlegung des Endes steht auch nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit einer Hypothese und ist deshalb hinsichtlich des Gesichtspunktes Fahrereingriffe gewählt.

<sup>139</sup> Die hier gemeinte Fahrstreifenbegrenzung ist in den meisten Fällen die Leitlinie, jedoch zählen für diese Untersuchung auch alle anderen den Fahrstreifen begrenzenden Linien dazu.

<sup>140</sup> Stabilisiert bedeutet die Quergeschwindigkeit bezogen auf die Fahrstreifenmitte bewegt sich um den Wert 0 m/s.

**Ausscherbeginn:**

Der Ausschervorgang nach links/rechts aus Sicht des ACC-Fahrzeugs beginnt dann, wenn das linke/rechte Hinterrad des ausschierenden Fahrzeugs die eigene Fahrstreifenbegrenzung das erste Mal berührt und dabei überfährt.

**Ausscherende:**

Das Ende des Ausschervorgangs nach links/rechts ist dann zu verzeichnen, wenn das rechte/linke Hinterrad die eigene Fahrstreifenbegrenzung zum angrenzenden Fahrstreifen verlässt.

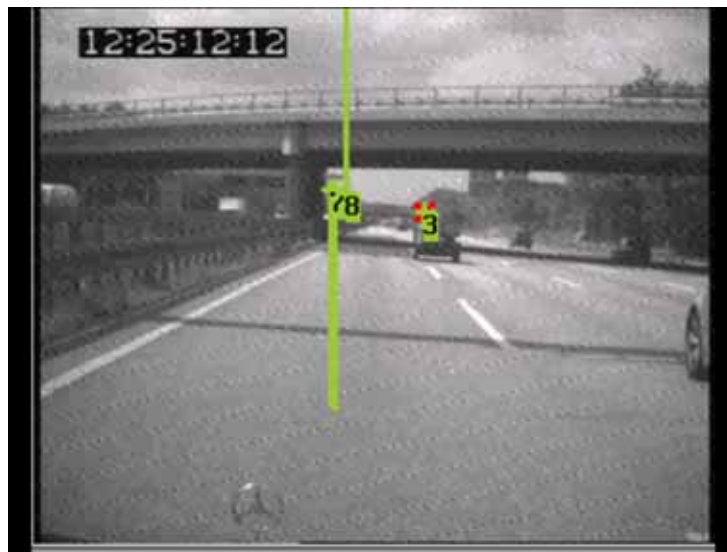


Abbildung 10-5: Videobild, Ende eines Ausschervorgangs nach rechts

Je nach Charakteristik des Fahrers (offensiv oder defensiv) und Entfernung zum ausschierenden Fahrzeug, ist der Ausscherbeginn oder das Ausschierende dem aus Fahrersicht gewünschten Zeitpunkt zur Demarkierung des Fahrzeugs näher. So würde ein Fahrer mit einem sportlichen Fahrstil bei einem Ausschervorgang in ausreichender Entfernung vielleicht bereits kurz nach dem Ausscherbeginn auf Wunschgeschwindigkeit beschleunigen, während ein Fahrer mit defensivem Fahrstil bis zum Ausschierende abwarten würde. Normalerweise wird dieser fahrerspezifische Wunschzeitpunkt zwischen dem Ausscherbeginn und dem Ausschierende liegen. Aus diesem Grund wurden beide Zeitpunkte notiert. Des Weiteren kann damit die Dauer eines Ausschervorgangs bestimmt werden.

**Ausschersituation:**

Aus der Regressionsanalyse werden zwei höchstsignifikante Regressoren erhalten. Der Lateralversatz ( $TO_{dy}$ ) war schon im Vorfeld mit einem positiven Koeffizienten zu erwarten. Das bedeutet, je größer der Lateralversatz zum Demarkierungszeitpunkt ist, desto später bezogen auf das Ausschierende wurde das Fahrzeug demarkiert. Etwas auffälliger ist, dass der Längsabstand höchstsignifikant mit einem positiven Koeffizienten einhergeht. Daraus folgt, je weiter das Zielfahrzeug entfernt ist, desto später wird es demarkiert. Dieses Ergebnis ist im Vergleich mit den Einscherern ähnlich und vermutlich auch aus demselben Grund: Aus großer

Entfernung folgt eine gewisse unsichere Vorhersage, ob das Fahrzeug noch auf dem eigenen Fahrstreifen ist, im Zweifel bleibt es deshalb als TO markiert.

### 10.7.3.2 Charakteristiken Einschersituationen

Tabelle 10-34: Charakteristiken Einschersituationen

Einschersituationen	Sichtbereichsversion	
	±4°	±8°
Gesamtanzahl Situationen	616	600
Einschersituationen von rechts	432	400
{ $d_{yc} \leq 0$   Einschersituationen von rechts}	424	390
{Erkennungswinkel $\leq 0$   Einschersituationen von rechts} (WVR <sup>141</sup> c )	353	330
% Einschersituationen von rechts / Gesamtanzahl Situationen	70,13 %	66,67 %
% WVR / von rechts	81,71 %	82,50 %
langsamer	365	365
gleich schnell	51	45
% langsamer / Gesamtanzahl Situationen	59,25 %	60,83 %
TO_dx $\leq 20m$	85	92
% (TO_dx $\leq 20m$ ) / Gesamtanzahl Situationen	13,80 %	15,33 %

<sup>141</sup> WVR= „Winkel von Rechts“ bedeutet, dass der Erkennungswinkel örtlich rechts bezogen auf die Mitte des fahrzeugfesten Koordinatensystem liegt.

### 10.7.3.3 Charakteristiken Ausschersituationen

Tabelle 10-35: Charakteristiken Ausschersituationen

Ausschersituationen	Sichtbereichsversion	
	±4°	±8°
Variante		
Gesamtanzahl Situationen	1.007	942
Ausschersituationen nach rechts	758	732
{ $d_{yc} \leq 0$   Ausschersituationen nach rechts}	745	720
{Erkennungswinkel $\leq 0$   Ausschersituationen nach rechts} (WNR <sup>142</sup> )	738	717
% Ausschersituationen nach rechts / Gesamtanzahl Situationen	75,27 %	77,71 %
% WNR / Ausschersituationen nach rechts	97,36 %	97,95 %
schneller als Zielobjekt ( $v_{rel} < 0$ )	440	383
gleich schnell	298	326
% ( $v_{rel} < 0$ ) / Gesamtanzahl Situationen	43,69 %	40,66 %

Tabelle 10-36: Regressionsanalyse für den Demarkierungszeitpunkt relativ zum Ausscherende

	Koeffizienten	Standardfehler	p-Wert	Signifikanz
$v_{rel}$	0,1651	1,1472	0,8855	
$TO_{dx}$	0,6598	0,1409	$3,526 \cdot 10^{-6}$	***
$TO_{dy}$	7,2233	1,7207	$2,8184 \cdot 10^{-5}$	***
Sichtbereichsversion ± 8°	-1,1691	6,7121	0,8617	
<b>R<sup>2</sup></b>	0,0204			

<sup>142</sup> WNR= „Winkel nach Rechts“ bedeutet, dass der Demarkierungswinkel örtlich rechts bezogen auf die Mitte des fahrzeugfesten Koordinatensystem liegt.

## 10.8 Ergebnisse der Fahrschlauchuntersuchung

### 10.8.1 Verteilung und Häufigkeiten der Erkennungen (alle Teilkategorien)

Tabelle 10-37: Parameter der Richtig (RE)- und Falscherkennungen (FE)

		Mittlerer Abstand bezogen auf die Fahrschlauchmittellachse	Maximum bezogen auf die Fahrschlauchmittellachse	95%-Bereich der Zielobjekterkennungen bezogen auf den Mittleren Abstand
		[m]	[m]	[m]
Kategorie 1	RE	-0,06	0,000	2,50
	FE <sub>links</sub>	2,48	2,750	4,00
	FE <sub>rechts</sub>	-2,53	-2,625	3,75
Kategorie 2	RE	0,02	0,000	2,75
	FE <sub>links</sub>	2,41	3,250	2,75
	FE <sub>rechts</sub>	-2,18	-2,000	3,25
Kategorie 3	RE	0,00	0,000	3,25
	FE <sub>links</sub>	2,94	3,500	2,75
	FE <sub>rechts</sub>	-3,02	-3,250	2,75
Kategorie 4	RE	0,02	0,125	4,00
	FE <sub>links</sub>	2,96	3,250	2,50
	FE <sub>rechts</sub>	-3,15	-3,375	2,50
Gesamtstrecke	RE	-0,01	0,000	3,00
	FE <sub>links</sub>	2,91	3,375	2,75
	FE <sub>rechts</sub>	-3,06	-3,250	2,75



## 11 Literaturverzeichnis

- Abendroth, B. [Gestaltungspotenzial Pkw-Abstandsregelsystem, 2001]  
Gestaltungspotenzial für ein Pkw-Abstandsregelsystem unter Berücksichtigung verschiedener Fahrertypen; Dissertation TU Darmstadt, Ergonomia Verlag, Stuttgart, 2001
- Adiprasito, B. [FAS bei Längsführung von Kfz, 2001]  
Fahrerassistenzsysteme bei der Längsführung von Kraftfahrzeugen im Niedergeschwindigkeitsbereich; 2. Braunschweiger Symposium: Automatisierungs- und Assistenzsysteme für Transportmittel, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12, Nr. 460, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2001
- Audi AG [ACC im Audi A8, 2002]  
Adaptive Cruise Control im Audi A8 - Konstruktion und Funktion; Selbststudienprogramm 289, 000.2811.09.00, AUDI AG, Ingolstadt, 2002
- Basten, M.; Gilles, L. [LucasVarity ACC, 1998]  
Das neue LucasVarity ACC System mit komfortabel regelbarem elektronischem Bremsgerät; 7. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentchnik, Aachen, 1998
- Becker, S.; Geduld, G.; Naab, K.; Rieth, P. et. al. [Experience with autonomous intelligent cruise control, 1994]  
Summary of experience with autonomous intelligent cruise control (AICC); Part 2: Results and conclusions, Proceedings of the first world congress on applications of transport telematics and intelligent vehicle-highway systems, Vol. 4, Paris, 1994
- Bengler, K.; Mayser, C. [Probandenversuche, 2003]  
Probandenversuche zur Beurteilung von Fahrerinformationssystemen und Fahrerassistenzsystemen - Lerneffekte und Lösungsansätze; Landau, K. und Winner, H. (Hrsg.): Fahrversuche mit Probanden – Nutzwert und Risiko, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12, Nr.557, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2003

- Bielaczek, Chr. [Fahrerbeeinflussung auf Fahrsicherheit beim PKW-Fahren, 1998]  
Untersuchungen zur Auswirkung einer aktiven Fahrerbeeinflussung auf die Fahrsicherheit beim PKW-Fahren im realen Straßenverkehr; Dissertation TU Darmstadt, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12, Nr. 357, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1998
- Bortz, J. [Statistik Bortz, 1979]  
Lehrbuch der Statistik, für Sozialwissenschaftler; Springer-Verlag, Berlin, 1979
- Bortz, J. [Statistik Bortz, 2005]  
Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler (6. Auflage); Springer Medizin Verlag, Heidelberg, 2005
- Braess, H.-H.; Reichhart, G. [PROMETHEUS: Vision des intelligenten Automobils, 1995]  
PROMETHEUS: Vision des „intelligenten Automobils“ auf „intelligenter Straße“?; Automobiltechnische Zeitschrift ATZ 97, Heft 4 + 6, 1995
- Breuer, J. [Beurteilung des Arbeitssystems Kraftfahrzeugführen, 1996]  
Ergonomische Beurteilung und Gestaltung der Sicherheit des Arbeitssystems Kraftfahrzeugführen; Dissertation TU Darmstadt, Fortschritt-Bericht VDI, Reihe 12, Nr. 271, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1996
- Bubb, H. [Probandenanzahl für Fahrversuche, 2003]  
Wie viele Probanden braucht man für allgemeine Erkenntnisse aus Fahrversuchen?; K. Landau & H. Winner (Hrsg.), Fahrversuche mit Probanden - Nutzwert und Risiko, Ergonomia Verlag, Stuttgart, 2003
- Camp, Robert C. [Benchmarking, 1994]  
Benchmarking; Carl Hanser Verlag München, Wien, 1994
- Claus/Ebner [Statistik Claus, 1982]  
Statistik für Soziologen, Pädagogen, Psychologen und Mediziner, Band1: Grundlagen; Verlag Harri Deutsch, Frankfurt am Main, 1982

- Continental Temic [A.D.C. Homepage, 2003]  
A.D.C.: Innovative Produkte für eine neue Ära des Fahrens;  
ADC GmbH Homepage, 2003
- Continental Temic [Sensors Future Safety Systems, 2004]  
AMAA – Advanced Microsystems for Automotive Applications;  
Vortragsreihe vom 25 - 26.03.2004; Themenschwerpunkt  
Sensors Future Safety Systems; Continental TEMIC microelec-  
tronics GmbH, Berlin, 2004
- Deml, B.; Blaschke, C.; Färber, B. [Prädiktion des Fahrstils zur Auslegung von FAS, 2006]  
Prädiktion des Fahrstils zur adaptiven Auslegung von Assistenz-  
systemen; Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt, 48.  
Fachausschusssitzung für Anthropotechnik: Cognitive Systems  
Engineering in der Fahrzeug- und Prozessführung, Karlsruhe,  
24.-25. Oktober 2006
- Denso Technology [Denso Adaptive Cruise Control, 2001]  
Adaptive Cruise Control; Technischer Report, Denso Technolo-  
gy, 2001
- Didier, Muriel [Verfahren zur Messung des Komforts bei Abstandsregelsyste-  
men, 2006]  
Ein Verfahren zur Messung des Komforts von Abstandsregel-  
systemen; genehmigte, noch nicht veröffentlichte Dissertation,  
TU Darmstadt, 2006
- Doerfler, R. [Siemens radar applications, 2000]  
Development of automotive radar applications in Siemens AT;  
SAE Technical Paper Series, 99A4089, Warrendale/USA, 2000
- Domsch, C. et. al. [Testverfahren ACC, 2000]  
Werkzeuge und Testverfahren zur Entwicklung und Analyse  
von ACC-Systemen; 9. Aachener Kolloquium Fahrzeug und  
Motorentechnik, Aachen, 2000
- Donges, E. [Aspekte der Aktiven Sicherheit bei der Fahrzeugführung, 1982]  
Aspekte der Aktiven Sicherheit bei der Führung von Personen-  
kraftwagen; Automobil-Industrie 2, 1982

- Ehmanns, D. [Simulationsmodell des menschl. Streifenwechselverhaltens, 2001]  
Simulationsmodell des menschlichen Streifenwechselverhaltens; Der Fahrer im 21. Jahrhundert, Tagung Berlin 2001. Fortschritt-Berichte VDI, Nr.1613, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2001
- Fastenmeier, W. [Stop&Go, 1998]  
Stop&Go: Fahrerunterstützung durch ACC; 7. Aachener Kolloquium Fahrzeug und Motorentechnik, Aachen, 1998
- Fastenmeier, W. et. al. [Risikopotentialabschätzung Streifenwechsel-Assistenz, 2001]  
Prospektive Risikopotentialabschätzung am Beispiel der Spurwechsel-Assistenz; Der Fahrer im 21. Jahrhundert, Tagung Berlin 2001, Fortschritt-Berichte VDI, Nr.1613, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2001
- Fastenmeier, W. et. al. [Methodik zur Fahraufgabenanalyse, 2003]  
Entwicklung und Anwendung einer neuen Methodik zur Fahraufgabenanalyse; Der Fahrer im 21. Jahrhundert: Anforderungen, Anwendungen, Aspekte für Mensch-Maschine-Systeme, VDI-Berichte 1768, VDI Verlag, Düsseldorf, 2003
- Fecher, Norbert [Stationäres Folgeverhalten von Pkw-Fahrerführern, 2005]  
Analyse des stationären Folgeverhaltens von Pkw-Fahrerführern unter Berücksichtigung von Nässe und einhergehender Sichtbehinderung; Dissertation TU Darmstadt, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12, Nr. 604, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2005
- Fecher, N.; Winner, H. [Abschlußbericht S.A.N.T.O.S., 2002]  
Abschlußbericht S.A.N.T.O.S.; FZD-Bericht Nr. 284/02 Fachgebiet Fahrzeugtechnik, Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, 2002
- Fecher, N.; Filzek, B.; Winner, H. [Fahrerverhalten und ACC-Funktion in Ein- und Ausschersituationen, 2002]  
Fahrerverhalten und ACC-Funktion in Ein- und Ausschersituationen; FAS Workshop / Altmühltal, 9.Oktober 2002
- Filzek, Björn [Fahrer und ACC Abstandsverhalten, 2003]  
Abstandsverhalten auf Autobahnen – Fahrer und ACC im Vergleich; Dissertation TU Darmstadt, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12, Nr.536, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2003

- Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen [Internetquelle Straßenwesen, 2006]  
Richtlinie für die Anlage von Straßen Teil – Teil Querschnitte 1996; <http://staedtebau.wisotoday.de/Regelquerschnitt>, Zugriff am 20.01.2006
- Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen [Straßenrichtlinien, 1995]  
Richtlinien für die Anlage von Straßen Teil: Linienführung; Arbeitsgruppe „Straßenentwurf“, RAS-L, ESV, 1995
- Friedrichs, J. [Methoden empirischer Sozialforschung, 1990]  
Methoden empirischer Sozialforschung; 14. Auflage, Opladen, Westdeutscher Verlag GmbH, 1990
- Hartung, J. [Statistik Hartung, 1998]  
Statistik; 11. Auflage, Oldenbourg Verlag, München, 1998
- Henning, K. et. al. [Einsatz von FAS im Güterverkehr, 2003]  
Einsatzszenarien für Fahrerassistenzsysteme im Güterverkehr und deren Bewertung; Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12, Nr.531, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2003
- Hessisches Landesamt für Straßen und Verkehrswesen [Verkehrsmengenkarte, 2000]  
Verkehrsmengenkarte, Wiesbaden 2000
- Hoefs, D.-H. [Fahrerverhalten in Fahrzeugkolonnen, 1972]  
Untersuchung des Fahrverhaltens in Fahrzeugkolonnen; Bundesministerium für Verkehr, Abt. Straßenbau, Schriftenreihe Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 140, Bonn, 1972
- Hoess, A. [Siemens ACC, 2001]  
Multifunctional Automotive Radar Network; Siemens VDO Automotive AG, Regensburg, 2001
- Honma, S.; Uehara, N. [Radar Technology for Automotive Application, 2001]  
Millimeter-Wave Radar Technology for Automotive Application, Technischer Report, Mitsubishi Electric ADVANCE, 2001
- ISO 15622 [ISO 15622, 2002]  
Transport information and control systems – Adaptive Cruise Control systems – Performance requirements and test procedures; 1. Auflage, Genf: 2002

- Keuth, H. [Klassiker Auslegen, 2004]  
Klassiker Auslegen, Band 12: Logik der Forschung; Akademie Verlag GmbH, Berlin, 2004
- König, W. et. al. [S.A.N.T.O.S., 2000]  
S.A.N.T.O.S. – Situations-angepasste und Nutzer-Typ-zentrierte Optimierung von Systemen zur Fahrerunterstützung; GfA Herbstkonferenz, München, 2000
- König, W. et. al. [Optimierung von Systemen zur Fahrerunterstützung, 2005]  
Situations-angepasste und Nutzer-Typ-zentrierte Optimierung von Systemen zur Fahrerunterstützung; H. Bubb (Hrsg.), Ergonomie und Verkehrssicherheit, Herbert Utz Verlag, München, 2005
- Kramer, F. [Passive Sicherheit von Kraftfahrzeugen, 1998]  
Passive Sicherheit von Kraftfahrzeugen; Vieweg-Verlag, Braunschweig/Wiesbaden, 1998
- Kudritzki, Detlef [Objektivierung subjektiver Beurteilungen, 1998]  
Möglichkeiten der Objektivierung subjektiver Beurteilungen des Fahrzeugverhaltens; Tagungsband Haus der Technik: Subjektive Fahreindrücke sichtbar machen, 1998
- Kühnle, Dr. G. et. al. [Low-Cost-Long-Range-Radar für FAS, 2002]  
Low-Cost Long-Range-Radar für zukünftige Fahrerassistenzsysteme; 11. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik, Aachen, 2002
- Kunert, M. et. al. [Fahrzeugrundumsicht mit Radar, 2000]  
Fahrzeugrundumsicht mit Radartechnik; Fortschritt-Berichte VDI, Nr.1547, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2000
- Kuroda, H. et. al. [Vehicle Control for Save Driving, 2003]  
Vehicle Control and Information Systems for Save Driving; Hitachi Review Vol. 52, 2003
- Lages, U. et. al. [Objekterkennung in Pre-Crash-Phasen, 2003]  
Objekterkennung in Pre-Crash-Phasen unter Verwendung von Laserscannern – Bewertung der Kollisionsgefahr in kritischer Fahrsituation; 2003

- Landau, K. et. al. [Methoden zur Erfassung des Fahrerhaltens, 2003]  
Methoden zur polygraphischen Erfassung des Fahrerhaltens; Landau, K. und Winner, H. (Hrsg.): Fahrversuche mit Probanden – Nutzwert und Risiko, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12, Nr.557, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2003
- Landau, K. [Usability criteria for intelligent driver assistance systems, 2002]  
Usability criteria for intelligent driver assistance systems; Theoretical Issues in ergonomics science, 3(4), 2002
- Langheim, Dr. J. et. al. [Radar basiertes ACC, 2002]  
Radar basiertes ACC und weitere zukünftige Fahrerassistenzsysteme; 11. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik, Aachen, 2002
- Langheim, Dr. J. [Sensing of Car Environment, 2000]  
Sensing of Car Environment at Low Speed Driving; ITS CARSENSE, final paper, Turin, 2000
- Lehn, J. et. al. [Einführung in die Deskriptive Statistik, 2000]  
Einführung in die Deskriptive Statistik; B.G. Teubner, Stuttgart / Leipzig, 2000
- Lienert, G.A. [Nichtparametrische Tests, 1973]  
Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik, Band 1; Verlag Anton Hain, Meisenheim am Glen, 1973
- Lakatos, I. [Falsification and Methodology of Research Programms, 1970]  
Falsification and the Methodology of Scientific Research Programms; Lakatos & Musgrave, 1970
- Levis, J. A.; McKinlay, W. [Quantification of subjective judgements, 1980]  
A quantification of subjective judgements of vehicle ride; D. J. Osborne & J. A. Levis (Hrsg.), Human Factors in Transport research, Vol. 2, User factors: comfort, the environment and behaviour, London, 1980
- Marstaller, R.; Mayser, C.; Kohlhof, S.; Bubb, H. [Akzeptanzuntersuchungen einer Längsregelung im Kfz, 2001]  
Akzeptanzuntersuchungen zu einer automatischen Längsregelung im Kfz; R. Marzi et al. (Hrsg.), Bedienen und Verstehen: 4. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme, Fortschritt-Berichte VDI, 22 (8), VDI Verlag, Düsseldorf, 2001

- Mende, R.; Zander, A. [Short range radar system, 2000]  
A multifunctional automotive short range radar system; Online Ressource, SMS GmbH, 2000, [www.smartmicro.de](http://www.smartmicro.de), Zugriff am 25.08.2004
- Möbus, R. et. al. [Multi-Objekt Adaptive Cruise Control, 2002]  
Multi-Objekt Adaptive Cruise Control; SAE Technical Paper Series, 26230359, Warrendale/USA, 2002
- Moritz, M. [Functional Evolution on Short Range Radar, 2000]  
Pre-Crash Sensing – Functional Evolution based on Short Range Radar Sensor Platform; SAE Technical Paper Series 00IBECD-11, Warrandale/USA, 2000
- Nirschl, G.; Kopf, M. [Untersuchung des Zusammenwirkens zw. Fahrer und ACC, 1997]  
Untersuchung des Zusammenwirkens zwischen dem Fahrer und einem ACC-System in Grenzsituationen; Der Mensch im Verkehr, VDI Berichte 1317, VDI Verlag, Düsseldorf, 1997
- N.N. [MoTiV, 2000]  
Abstands- und Geschwindigkeitsregelung; ACC im Ballungsraum, MoTiV Abschlussbericht, Bonn, 2000
- N.N. [ALASCA Laserscanner, 2003]  
ALASCA – Automotiver Laserscanner; Produktinformation, Hella KG Hueck & Co, 2003
- N.N. [Bautabellen für Architekten, 1996]  
Bautabellen für Architekten; Düsseldorf, Werner-Verlag, 1996
- N.N. [Blind Spot Detection, 2004]  
Blind Spot Detection; Produktinformation, Valeo Raytheon, 2004
- N.N. [Bußgeldkatalog, 2006]  
BGBI Amtlicher Bußgeldkatalog 2006; Teil 1 Nr. 14, 2006, [www.fahrtipps.de/Verkehrsrecht/Bussgeldkatalog](http://www.fahrtipps.de/Verkehrsrecht/Bussgeldkatalog), Zugriff am 21.09.2006
- N.N. [Detection of Car Environment, 2001]  
Detection of Car Environment at Low Speed Driving; ITS CARSENSE, final paper, Clermont-Ferrand/Frankreich, 2001



- N.N. [World's Smallest-class 76 GHz Scan-type, 1999]  
Development and Sample Shipment of World's Smallest-class 76 GHz Scan-type Millimeter-wave Radar for Automobiles; Pressemitteilung, Fujitsu Ten Limited, 1999
- N.N. [Driver Awareness System, 2004]  
Driver Awareness System; Online Ressource, Visteon, 2004, [www.visteon.com](http://www.visteon.com), Zugriff am 11.04.2004
- N.N. [Scanned Automotive Radar, 2004]  
Electrically Scanned Millimeter-Wave Automotive Radar; Produktinformation, Toyota Central R&D Labs. Inc, Online Ressource, 2002, [www.denso.co.jp](http://www.denso.co.jp), Zugriff am 12.04.2004
- N.N. [Forewarn ACC, 2002]  
Forewarn Adaptive Cruise Control (Radar); Produktinformation, Delphi, 2002
- N.N. [IBEO Automobile Sensor, 2004]  
IBEO Automobile Sensor; Online Ressource, LD Automotive, 2004, [www.ibeo-as.de](http://www.ibeo-as.de), Zugriff am 08.11.2004
- N.N. [DISTRONIC Plus-Internet Quelle, 2006]  
Mercedes-Benz Neu S-Klasse in Tiefe;  
<http://www.germancarfans.com/news.cfm/newsid/2050809.004/page/11/lang/de/mercedes/1.html>, 2006, Zugriff am 06.01.2006
- N.N. [Denso Pre-Crash Safety System, 2003]  
Pre-Crash Safety System; Produktinformation, Denso Corporation, Online Ressource, 2003, [www.denso.co.jp](http://www.denso.co.jp), Zugriff am 12.04.2004
- N.N. [Smart Microwave Sensors, 2004]  
Smart Microwave Sensors; Online Ressource, SMS GmbH, 2004, [www.smartmicro.de](http://www.smartmicro.de), Zugriff am 08.11.2004
- N.N. [Verkehrsmengenkarte, 2000]  
Verkehrsmengenkarte; Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen, Wiesbaden, HSW, 2000
- Pahl, G.; Beitz, W. [Konstruktionslehre PAHL & BEITZ, 1997]  
Konstruktionslehre; Springer Verlag, Berlin, 1997

- Pauschert, Dirk [Benchmarking und Innovation, 1999]  
Benchmarking und Innovation; Arbeitspapier des Fachbereiches Wirtschaftswissenschaften 9/1999, Bergische Universität Gesamthochschule Wuppertal, 1999
- Philippe, G. [Methodology to evaluate automotive seat comfort, 1995]  
One methodology to evaluate automotive seat comfort; Vehicle comfort and ergonomics, 3rd International Conference, Bologna, 1995
- Popper, Karl [Logik der Forschung, 2005]  
Logik der Forschung; Mohr Siebeck, Tübingen, 2005
- Prestl, W. [Adaptive Cruise Control ACC, 2004]  
Adaptive Cruise Control ACC; Elektronik im Kraftfahrzeugwesen, 4. Auflage, Expert Verlag, Renningen, 2004
- Prestl, W. et. al. [The BMW Adaptive Cruise Control ACC, 2000]  
The BMW Adaptive Cruise Control ACC; SAE Paper 2000-01-0344, Warrendae/USA, 2000
- Randler, Martin, et al. [Anforderung an die Umwelthypothese der Umfeldsensorik, 2003]  
Anforderungen von Komfort- und Sicherheitsfunktion an die Umwelthypothese der Umfeldsensorik; Workshop Fahrerassistenzsysteme FAS 2003, Leinsweiler, 2003
- Richard Bishop Consulting [New Radar for Next-Generation, 2000]  
IVsource.net and Richard Bishop Consulting (RBC): Hitachi Unveils New Radar for Next-Generation Eaton VORAD ACC; Online Ressource, 2000, [www.ivsource.net](http://www.ivsource.net), Zugriff am 11.04.2004
- Riedel, A. [Beurteilung des Handling von Pkw, 2000]  
Subjektive und objektive Beurteilung des Handling von Pkw; K. Becker (Hrsg.), Subjektive Fahreindrücke sichtbar machen, Expert Verlag, Renningen-Malmsheim, 2000
- Robert Bosch GmbH [Kraftfahrtechnisches Taschenbuch, 1999]  
Kraftfahrtechnisches Taschenbuch; Wiesbaden, Vieweg-Verlag, 1999

- Robert Bosch GmbH [Sicherheits- und Komfortsysteme, 2004]  
Sicherheits- und Komfortsysteme; 3. Auflage, Friedr. Vieweg & Sohn Verlag, 2004
- Robert Bosch GmbH [Vergleich ACC1 - ACC2, 2003]  
Vergleich ACC1 - ACC2; Robert Bosch GmbH, 2003
- Rossig, E.; Prätsch, J. [Wissenschaftliche Arbeiten, 2005]  
Wissenschaftliche Arbeiten – Leitfaden für Haus- und Seminararbeiten, Bachelor- und Masterthesis, Diplom- und Magisterarbeiten, Dissertationen; 5. Auflage, Print-Tec, Weyhe, 2005
- Sachs, Lothar [Angewandte Statistik, 2004]  
Angewandte Statistik; 11. Auflage, Springer Verlag Berlin, 2004
- Salous, M. [Vehicle Data Communications for Radar, 2003]  
Vehicle Data Communications for Networked Radar; University of Birmingham, Birmingham/England, 2003
- Shackel, B.; Chidsey, K.D.; [The assessment of chair comfort, 1969]
- Shipley, P. The assessment of chair comfort; Ergonomics, 12 (2), 1969
- Statistisches Bundesamt [Amtliche Unfallstatistik, 2005]  
Verkehrsunfälle - Fachserie 8, Reihe 7 – 2005; Amtliche Unfallstatistik 2005, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2006
- Tullson, B. [Applications for Automotive Radar, 2000]  
Alternative Applications for a 77 GHz Automotive Radar; Produktinformation, CelsiusTech Electronics AB, Järfälla/ Schweden, 2000
- TRW Automotive [TRW ACC, 2002]  
ACC Adaptive Cruise Control; DAS Driver Assistance Systems, Produktinformation, 2002
- Uhler, W.; Weilkes, M. [Systemkonzept eines erweiterten ACC, 2000]  
Stop&Go: Systemkonzept und Gesamtfunktionalität eines erweiterten ACC; 9. Aachener Kolloquium Fahrzeug und Motorentechnik, Aachen, 2000

- Visteon [Visteon Adaptive Cruise Control, 2004]  
Adaptive Cruise Control; Online Ressource, Visteon. 2004  
[www.visteon.com](http://www.visteon.com), Zugriff am 17.02.2005
- Weilkes, M. [Auslegung von FAS mittels Simulation]  
Auslegung und Analyse von Fahrerassistenzsystemen mittels Simulation; Schriftenreihe Automobiltechnik, Institut für Kraftfahrwesen Aachen
- Weinberger, M. [Einfluss von ACC auf das Fahrverhalten, 2001]  
Der Einfluß von Adaptive Cruise Control Systemen auf das Fahrverhalten; Dissertation TU München, Aachen, Shaker Verlag, 2001
- Widmann, G. et. al. [Comparison of Lidar-Based and Radar-Based ACC, 2000]  
Comparison of Lidar-Based and Radar-Based Adaptive Cruise Control Systems; SAE Technical Paper Series 2000-01-0345, Warrendale/USA, 2000
- Wikipedia [Internetquelle Wikipedia, 2006]  
<http://de.wikipedia.org/wiki>, 2006, Zugriff am 15.04.2006
- Wilde, G.J.S. [Theory of Risk Homeostasis, 1982]  
The Theory of Risk Homeostasis: Implications for Safety and Health; Risk Analysis 2, 1982
- Winner, H.; Olbrich, H. [ACC Auslegungsparameter, 1998]  
Major Design Parameters of Adaptive Cruise Control; Proc. AVEC 98, P. 130, Yokohama, 1998
- Winner, H.; Barthenheier, T.; [Fahrversuche mit Probanden, 2003]
- Fecher, N.; Luh, S. Fahrversuche mit Probanden zur Funktionsbewertung von aktuellen und zukünftigen Fahrerassistenzsystemen; K. Landau & H. Winner (Hrsg.), Fahrversuche mit Probanden – Nutzwert und Risiko, Ergonomia Verlag, Stuttgart, 2003
- Winner, Hermann [ACC Automotive Electronics Handbook, 1999]  
Adaptive Cruise Control; Chapter 30 in R. Jurgen (Editor): Automotive Electronics Handbook, Mc. Graw-Hill, 1999
- Winner, H.; Witte, S.; [ACC Entwicklungstrends, 1996]
- Uhler, W.; Lichtenberg, B. Adaptive Cruise Control - System Aspects and Development Trends, SAE Technical Paper 961010, 1996

- Winner, H. et. al. [ACC Gelbe Seiten, 2002]  
Adaptive Fahrgeschwindigkeitsregelung ACC; Technische Unter-  
richtung, Gelbe Reihe, Robert Bosch GmbH, Stuttgart, 2002
- Winner, Hermann [ACC Tagesform, 2005]  
Die Aufklärung des Rätsels der ACC-Tagesform und daraus ab-  
geleitete Schlussfolgerungen für die Entwicklerpraxis; 3. Work-  
shop Fahrerassistenzsysteme, Walting, Germany, 2005

**Eigene Veröffentlichungen:**

- Luh, S.; Winner, H. [ACC Sensorplattform, 2004]  
Mobile, fahrzeugunabhängige Sensorplattform zur Beurteilung der Systemausprägungen von Längsführungs-Assistenzsystemen; VDI-Berichte Nr. 1864, S. 209-238, VDI-Verlag, 2004
- Luh, S.; Winner, H. [ACC Sensorplattform, 2005]  
Fahrzeugtypunabhängige Sensorplattform zur Beurteilung von Längsführungs-Assistenzsystemen; 3. Workshop Fahrerassistenzsysteme, Walting, Germany, 2005
- Luh, S.; Winner, H. [Vehicle-independent sensor platform for ACC-Evaluation, 2005]  
Mobile vehicle-independent sensor platform for evaluation of the characteristics of longitudinal control assistance systems; ITS-Tagung, Hannover, Germany, 2005
- Luh, S.; Winner, H. [Sichtbereichseinfluss in Kurvensituationen, 2006]  
Einfluss des horizontalen Sichtbereichs eines Radarsensors auf die ACC-System-Performance in Kurvensituationen; 2. Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz, München, Germany, 2006
- Luh, S.; Winner, H. [Sichtbereichseinfluss in Kurven- bzw. Ein-/ Ausschersituationen, 2006]  
Einfluss des horizontalen Sichtbereichs eines Radarsensors auf die ACC-System-Performance in Kurven- bzw. Ein-/ Ausschersituationen; 4. Workshop Fahrerassistenzsysteme, Löwenstein, Germany, 2006

**Betreute Studien-/ Diplomarbeiten zum Thema:**

- Andreu, Ferran                      Inbetriebnahme und Verifikation einer ACC-Regelung im Fahrzeug mit Hilfe einer Radarbasierten Messtechnik zur Umfelderkennung und einem „BlackBox“-ACC-Regler; DA 367/04, TU Darmstadt, 2004
- Arnold, Philip                        Durchführung von Probandenversuchen zur Untersuchung des horizontalen Sichtbereichs von ACC-Systemen in Folge und Annäherungssituationen; SA 897/05, TU Darmstadt, 2005
- Azpiazu, Luis                        Influence of variation-parameters concerning the corridor of ACC-systems depending on diverse road trait; DA 388/05, TU Darmstadt, 2005
- Bugar, Andreas                      Inbetriebnahme und Entwicklung einer Methodik zum Einstellen einer mobilen radarbasierten Messtechnik zur Umfelderkennung auf verschiedenen Versuchsträgern; DA 356/03, TU Darmstadt, 2003
- Erber, Thomas                      Durchführung von Probandenversuchen zur Untersuchung des horizontalen Sichtbereichs von ACC-Systemen in Einschersituationen; SA 895/05, TU Darmstadt, 2005
- Geyer, Sebastian                    Durchführung von Probandenversuchen zur Untersuchung des horizontalen Sichtbereichs von ACC-Systemen in Kurvensituationen; SA 891/05, TU Darmstadt, 2005
- Goede, Klaus                        Herausarbeiten und Bewertung von objektiven Messgrößen zur Beurteilung von ACC-Systemen; SA 868/04, TU Darmstadt, 2005
- Gude, Daniela                        Untersuchung des horizontalen Öffnungswinkels von ACC-Sensoren auf die Performance bzw. den Endkundennutzen; DA 364/04, TU Darmstadt, 2004
- Hartgen, Thomas                    Herausarbeiten objektiver Messgrößen zur Beurteilung von ACC-Systemen mit Hilfe der mobilen Messtechnik und verifizierenden Versuchsfahrten; SA 858/03, TU Darmstadt, 2003
- Kessler, Niko                        Entwicklung, Aufbau, Inbetriebnahme und Erprobung eines mobilen radarbasierten Messsystems zur Beurteilung von ACC-Systemen für ein FZD-Versuchsfahrzeug; SA 839/02, TU Darmstadt, 2002
- Klomann, Jan                        Verifikation und Weiterentwicklung eines bestehenden Ansatzes zur Datenfusion objekterkennender Radarsensoren; DA 361/03, TU Darmstadt, 2003

- Kurrle, Bernhard Erarbeitung eines Gesamtkonzepts betreffend Messdatenerfassung, -sicherung und -analyse im Rahmen von Probandenversuchen mit ACC-Systemen; DA 375/04, TU Darmstadt, 2004
- Mages, Mark Weiterentwicklung und Verifikation einer bestehenden mobilen Messtechnik und Herausarbeiten objektiver Kriterien zur Beurteilung von ACC-Systemen; DA 353/03, TU Darmstadt, 2003
- Müller, Stefan Bewertung und Implementation eines Systemarchitekturansatzes zur Datenfusion objekterkennender Sensoren für Fahrerassistenzsysteme; DA 355/03, TU Darmstadt, 2003
- Nehls, Carsten Planung und Validierung von Probandenversuchen zur Beurteilung des Einflusses von verschiedenen Sichtbereichen bei ACC-Systemen; SA 874/04, TU Darmstadt, 2004
- Pokriefke, Alexander Durchführung von Probandenversuchen zur Untersuchung der Systemstörungen bei einer Variation des horizontalen Sichtbereichs von ACC-Systemen; SA 896/05, TU Darmstadt, 2005
- Prüfert, Bernd Literaturrecherche zum Stand der Technik bzgl. aktueller ACC-Systeme und angedachter Weiterentwicklungen; SA 854/03, TU Darmstadt, 2003
- Roukens, Jan Untersuchung des Nutzen-/ Störverhältnisses der Fahrschlauchkontur für ACC-Systeme in Abhängigkeit des Einflusses verschiedener Streckencharakteristiken; SA 888/05, TU Darmstadt, 2005
- Schaser, Johann Untersuchung des horizontalen Sichtbereichs von ACC-Systemen in Probandenversuchen; DA 377/04, TU Darmstadt, 2005
- Sojka, Bartosch Analyse des Nutzen-/ Störverhältnisses der Fahrschlauchkontur für ACC-Systeme in Abhängigkeit des Einflusses verschiedener Streckencharakteristiken und Einschersituationen; SA 908/05, TU Darmstadt, 2006
- Voigt, Michael Verifikation eines mobilen Gesamtsystems zur Beurteilung von ACC-Systemen und Durchführung einer Systemidentifikation exemplarisch an einem Fremdsystem; SA 862/03, TU Darmstadt, 2003
- Yu, Yiquan Durchführung einer Literaturrecherche zum Stand der Technik bzgl. ACC-Systeme; SA 876/04, TU Darmstadt, 2004



**Unveröffentlichte Quellen:**

- Luh, Steffen                   „Untersuchung des Einflusses des Sichtbereichs von ACC-Sensoren auf die Systemperformance“; Abschlussbericht, FZD-Bericht 312/06, Fachgebiet Fahrzeugtechnik, Technische Universität Darmstadt, 2006, unveröffentlicht
- Winner, Hermann             [FAS Vorlesungsskript, 2005]  
Vorlesungsunterlagen   Fahrerassistenzsysteme;   Fachgebiet  
Fahrzeugtechnik, TU Darmstadt, Darmstadt, 2005

## Lebenslauf

Dipl.-Ing. Steffen Alexander Luh

Altenhofstraße 3

65589 Hadamar

Geburtsdatum, -ort            02.11.1973, Gießen

Familienstand                 verheiratet

Staatsangehörigkeit         deutsch

### Schule

1980-1984                       Grundschule Hadamar-Oberzeuzheim

1984-1993                       Gymnasium Fürst-Johann-Ludwig Schule Hadamar

Abschluss: Allgemeine Hochschulreife (Abitur)

### Studium

1993-1998                       Technische Universität Darmstadt

Elektrotechnik / Fachgebiet Regelungstechnik und Automatisierungstechnik

Abschluss: Diplom

### Berufstätigkeit

01/1999-06/2002               Entwicklungsingenieur im Bereich Elektronik-Software, Zukunftsentwicklung bei der Firma Continental Teves AG & Co. OHG in Frankfurt am Main

07/2002-03/2006               Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Fahrzeugtechnik der Technischen Universität Darmstadt

seit 07/2006                    Entwicklungsingenieur im Bereich Methodenentwicklung Software bei der Firma Continental Automotive Systems in Frankfurt am Main

Hadamar-Oberzeuzheim, den 30.10.2006