

Marcus Mai

Fahrerverhaltens-  
modellierung für die  
prospektive, stochastische  
Wirksamkeitsbewertung von  
Fahrerassistenzsystemen der  
Aktiven Fahrzeugsicherheit

Schriftenreihe des Lehrstuhls  
Kraftfahrzeugtechnik

Herausgeber Prof. Dr.-Ing. Günther Prokop

Band 4



Schriftenreihe des Lehrstuhls  
Kraftfahrzeugtechnik

Herausgeber Prof. Dr.-Ing. Günther Prokop

Band 4

ISSN 2509-694X





# DISSERTATION

Zur Erlangung des akademischen Grades

Doktoringenieur (Dr.-Ing.)

## *Thema*

**Fahrerverhaltensmodellierung für die prospektive,  
stochastische Wirksamkeitsbewertung von  
Fahrerassistenzsystemen der Aktiven Fahrzeugsicherheit**

## *Bearbeiter*

Dipl.-Ing. Marcus Mai

geb. am 29.05.1987 in Leipzig

## *Gutachter*

Prof. Dr.-Ing. Günther Prokop

Lehrstuhl Kraftfahrzeugtechnik

Technische Universität Dresden

Prof. Dr. Bernhard Schlag

Professur für Verkehrspsychologie

Technische Universität Dresden

Tag der Einreichung:

01.11.2016

Tag der Verteidigung:

10.03.2017



### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen: Cuvillier, 2017

Zugl.: (TU) Dresden, Univ., Diss., 2017

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2017

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

[www.cuvillier.de](http://www.cuvillier.de)

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2017

Gedruckt auf umweltfreundlichem, säurefreiem Papier  
aus nachhaltiger Forstwirtschaft.

ISBN 978-3-7369-9548-2

eISBN 978-3-7369-8548-3

Gewidmet meinem Großvater:  
Prof. Dr. Hans-Martin Gerlach  
(1940 – 2011)



## Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Kraftfahrzeugtechnik der Technischen Universität Dresden. Zahlreiche Personen haben dazu beigetragen, dass diese Arbeit zu einem erfolgreichen Ende geführt werden konnte. Ihnen gebührt an dieser Stelle mein aufrichtiger Dank.

Prof. Dr.-Ing. Günther Prokop möchte ich nicht nur für die Betreuung und Begutachtung der Arbeit danken, sondern vor allem für die Möglichkeit, mich im Rahmen meiner Promotion einem so komplexen und interessanten Themengebiet widmen zu dürfen. Die Verhaltensmodellierung von Verkehrsteilnehmern hat sich für mich von einem unüberschaubaren Arbeitsgebiet mit zahllosen Unbekannten und Unsicherheiten zu einer Leidenschaft entwickelt, was ich anfangs niemals für möglich gehalten hätte. Für seinen „guten Riecher“ möchte ich ihm daher explizit noch einmal danken!

Prof. Dr. Bernhard Schlag gebührt ebenfalls mein Dank für die Zweitbegutachtung der Arbeit, aber auch für die Möglichkeit der Zusammenarbeit unserer beiden Professuren. Ohne die Unterstützung durch die Professur für Verkehrspsychologie wäre die Entstehung dieser Arbeit unmöglich gewesen. Für die enge und sehr produktive Zusammenarbeit auf operativer Ebene möchte ich daher ganz herzlich Fanny Schreiber und Dr. rer. nat. Gert Weller danken.

Des Weiteren gebührt mein Dank den Projektpartnern Christian Gruber und Dr.-Ing. Dirk Ehmanns von der BMW AG und Peter Wimmer, Dr. Andreas Rieser und Dr. Philipp Huber vom Kompetenzzentrum – Das Virtuelle Fahrzeug Forschungsgesellschaft mbH für die gemeinsame Durchführung des Forschungsprojekts, in dessen Rahmen die vorliegenden Inhalte erarbeitet wurden.

Nicht vergessen möchte ich die zahlreichen Studenten und Kollegen der Technischen Universität Dresden, die in irgendeiner Art an der Entstehung dieser Arbeit mitgewirkt haben und natürlich meinen Kollegen am Lehrstuhl Kraftfahrzeugtechnik für eine wunderbare Zeit.

Abschließend möchte ich meiner Familie und meinen Freunden für ihre Unterstützung danken. Besonderer Dank gebührt hierbei Janine Küttner für das inhaltliche und Anika Pätzold für das orthografische Korrekturlesen dieser Arbeit.

Dresden, Oktober 2016

Marcus Mai

## Kurzfassung

Verglichen mit der Passiven Sicherheit von Kraftfahrzeugen ist die Aktive Sicherheit ein noch recht junges Themengebiet der Automobiltechnik, da eine nennenswerte Durchdringung des Verkehrs erst in den 1990er Jahren durch einen breiteren Serieneinsatz von reaktiv eingreifenden Fahr-dynamikregelsystemen wie ESP und ABS erfolgte. Fahrerassistenzsysteme (FAS), die kritische Situationen durch *proaktive* Eingriffe vermeiden sollen, bevor diese entstehen, werden erst seit ungefähr zehn Jahren in Serie produziert. Die Bewertung des Einflusses dieser FAS auf das zukünftige Unfallgeschehen stellt nach wie vor eine große Herausforderung dar, da sich die große Anzahl möglicher Interaktionen mit den anderen Elementen des Verkehrssystems prospektiv nur sehr schwer quantifizieren lässt. Daher werden derzeit überwiegend Aspekte der funktionalen Sicherheit bei der Entwicklung und Absicherung dieser Systeme betrachtet.

Um das volle Potenzial dieser FAS in der Bewertung durch Verbraucherschutzorganisationen zu berücksichtigen, oder zukünftige Konzepte möglichst präzise auf das reale Verkehrsgeschehen auszulegen, ist ein integraler Bewertungsansatz jedoch unverzichtbar. Ein solch integraler Bewertungsansatz wird in der vorliegenden Arbeit skizziert, der besonders in der frühen Entwicklungsphase den Einsatz numerischer Methoden vorsieht. Die Verhaltenssimulation von Verkehrsteilnehmern wird als größte Lücke in diesem Zusammenhang identifiziert.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist daher die Entwicklung eines ersten Fahrerverhaltensmodells, das für die prospektive, stochastische Bewertung von FAS bezüglich ihrer Wirkung auf die Verkehrssicherheit geeignet ist. Dies wird prototypisch innerhalb eines Fußgängerszenarios mit einem generischen Kollisionsvermeidungssystem realisiert. Zudem ist der virtuelle Fahrer im ersten Ansatz lediglich in der Lage eine Bremsreaktion zu zeigen.

Zunächst wird in Kapitel 2 ein ausführlicher Literaturüberblick gegeben, der für die oben beschriebene Modellierungsaufgabe notwendig ist. Zugleich werden die existierenden Lücken in der Literatur identifiziert. Diese Lücken werden anschließend in Kapitel 3 durch Probandenstudien adressiert, sodass das Fahrerverhaltensmodell in Kapitel 4 aufgebaut werden kann. Abschließend wird das stochastische Verhalten des Modells in Kapitel 5 überprüft, indem das simulierte Verhalten mit dem realen Verhalten einer weiteren Probandenstudie verglichen wird. Aufgrund methodischer Probleme dieser Probandenstudie kann die Korrektheit des Modellverhaltens jedoch nicht explizit bestätigt werden.

Dennoch wird eine prototypische Bewertungsmethode des generischen FAS in Kapitel 6 durch Einführung der *Virtuellen Probandenstudie* vorgestellt. Für eine Stichprobe *mit* und eine Stichprobe *ohne* FAS mit jeweils 66.564 Probanden werden Simulationen durchgeführt. Durch statistische Testverfahren werden signifikante Unterschiede in der Reaktionszeit, der Kollisionshäufigkeit und der Geschwindigkeitsreduktion durch den Einsatz des FAS nachgewiesen. Die Kollisionshäufigkeit lässt sich beispielsweise um 51,9 % reduzieren.

## Abstract

Compared to the Passive Safety of road vehicles, Active Safety is a rather young discipline in automotive engineering, as a remarkable traffic penetration was just established in the 1990s by a broader application of reactively intervening suspension control systems like ESP and ABS. Advanced driver assistance systems (ADAS) which should avoid critical situations before they emerge by proactively interventions are serially produced for about ten years now. The evaluation of these ADAS' impact on the future accident statistics constitutes a huge challenge yet, because the vast amount of possible interactions with the other elements of the traffic system is hardly quantifiable in a prospective manner. Therefore, mostly aspects of functional safety are considered today in the development and assurance of such systems.

An integral evaluation approach becomes inevitable, to take the whole potential of these ADAS into account within the assessment of consumer protectors, or to adjust future concepts most precisely on real traffic conditions. Such an integral evaluation approach is outlined in the present work, which especially uses numerical methods in the early development phase. The behaviour simulation of traffic participants is identified as the largest gap in this field.

The aim of the present work is therefore the development of a first driver behaviour model, which is suitable for the prospective, stochastic evaluation of an ADAS' impact on traffic safety. This is prototypically realized within a pedestrian crossing scenario and a generic collision avoidance system. Also, the virtual driver is only able to brake in this first application.

At first, an extensive overview on literature is given in chapter 2, which is needed for the modeling task described above. Besides, the existing gaps in literature are identified. Those gaps are subsequently addressed in chapter 3 by human subject studies, so the driver behaviour model can be constructed in chapter 4. Finally, the stochastic behaviour of the model is reviewed in chapter 5 by comparing its simulated behaviour to another human subject study. Due to methodical issues of this study, the correctness of the model behaviour cannot be explicitly confirmed.

Nevertheless, a prototypical evaluation method of the generic ADAS is presented in chapter 6 by introducing the *Virtual human subject study*. For one sample with ADAS and one sample without ADAS of 66,564 subjects each, simulations are executed. By means of statistical tests, significant differences in reaction time, collision frequency, and velocity reduction due to the application of the ADAS are proved. For example, the collision frequency can be reduced by 51.9 %.



# Inhaltsverzeichnis

|                                                                                    |               |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>Danksagung</b>                                                                  | <b>V</b>      |
| <b>Kurzfassung</b>                                                                 | <b>VI</b>     |
| <b>Abstract</b>                                                                    | <b>VII</b>    |
| <b>Inhaltsverzeichnis</b>                                                          | <b>IX</b>     |
| <b>Verwendete Formelzeichen</b>                                                    | <b>XII</b>    |
| <b>Notationsschlüssel</b>                                                          | <b>XXV</b>    |
| <b>Abkürzungsverzeichnis</b>                                                       | <b>XXVIII</b> |
| <b>1 Einleitung</b>                                                                | <b>1</b>      |
| 1.1 Stand der Forschung zur numerischen Fahrerverhaltensmodellierung               | 4             |
| 1.1.1 Fahrerverhaltensmodelle der Kraftfahrzeugtechnik                             | 5             |
| 1.1.2 PELOPS                                                                       | 5             |
| 1.1.3 ACME Driver                                                                  | 7             |
| 1.1.4 SSDRIVE / SiMUD                                                              | 9             |
| 1.2 Motivation und Ziel der Arbeit                                                 | 10            |
| <b>2 Wissenschaftlicher Hintergrund</b>                                            | <b>13</b>     |
| 2.1 Theoretische Beschreibungen des Fahrerverhaltens                               | 13            |
| 2.1.1 Drei-Ebenen-Modell menschlichen Verhaltens nach Rasmussen                    | 13            |
| 2.1.2 Drei-Ebenen-Modell der Fahrzeugführung nach Donges                           | 15            |
| 2.1.3 Stufenmodell der Gefahrenkognition nach Schlag                               | 18            |
| 2.1.4 Bremsreaktionszeitmodell nach Burckhardt                                     | 19            |
| 2.1.5 $\tau$ -Theorie nach Lee                                                     | 20            |
| 2.2 Ableitung der Modellstruktur des Fahrerverhaltensmodells                       | 23            |
| 2.3 Informationsaufnahme                                                           | 24            |
| 2.3.1 Visuelle Wahrnehmung                                                         | 25            |
| 2.3.2 Auditive Wahrnehmung                                                         | 45            |
| 2.3.3 Offene Fragestellungen der Informationsaufnahme                              | 51            |
| 2.4 Informationsverarbeitung und Entscheidungsfindung                              | 51            |
| 2.4.1 Systematisierung der Länge von Reaktionszeiten nach Green                    | 52            |
| 2.4.2 Situationsbewertung mit Hilfe der $\tau$ -Theorie                            | 54            |
| 2.4.3 Offene Fragestellungen der Informationsverarbeitung und Entscheidungsfindung | 62            |
| 2.5 Handlungsauswahl und Handlungsausführung                                       | 63            |
| 2.5.1 Regulierung der Bremsreaktion mit Hilfe der $\tau$ -Theorie                  | 63            |
| 2.5.2 Motorische Grenzen des Fahrers im Rahmen der Fahrzeuglängsführung            | 67            |
| 2.5.3 Offene Fragestellungen der Handlungsauswahl und Handlungsausführung          | 68            |



|                                                                                          |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>3 Empirische Erhebungen.....</b>                                                      | <b>69</b>  |
| 3.1 Beschreibung der Probandenstudien .....                                              | 71         |
| 3.1.1 Laborversuch zur Erhebung des Blickverhaltens in der Normalfahrsituation.....      | 72         |
| 3.1.2 Simulatorstudie zur Erhebung der Dringlichkeitsbewertung.....                      | 73         |
| 3.1.3 Simulatorstudie zur Erhebung des Fahrerverhaltens in Gefahrensituationen .....     | 74         |
| 3.1.4 Realfahrversuch zur Überprüfung des stochastischen Modellverhaltens.....           | 75         |
| 3.2 Versuchsergebnisse zur Parametrierung des Modells.....                               | 78         |
| 3.2.1 Laborversuch zur Erhebung des Blickverhaltens in der Normalfahrsituation.....      | 78         |
| 3.2.2 Simulatorstudie zur Erhebung der Dringlichkeitsbewertung.....                      | 80         |
| 3.2.3 Simulatorstudie zur Erhebung des Fahrerverhaltens in Gefahrensituationen .....     | 80         |
| 3.2.4 Realfahrversuch zur Überprüfung des stochastischen Modellverhaltens.....           | 84         |
| 3.3 Versuchsergebnisse zur Überprüfung des Modellverhaltens .....                        | 85         |
| <b>4 Modellbildung .....</b>                                                             | <b>89</b>  |
| 4.1 Informationsaufnahme.....                                                            | 90         |
| 4.1.1 Die Hauptkomponente „Reizdetektion“ .....                                          | 91         |
| 4.1.2 Die Hauptkomponente „Blickbewegungsalgorithmus“ .....                              | 112        |
| 4.2 Informationsverarbeitung und Entscheidungsfindung .....                              | 118        |
| 4.2.1 Die Komponente „Reaktions-Grundzeit“ .....                                         | 118        |
| 4.2.2 Die Komponente „Situationsanalyse“ .....                                           | 118        |
| 4.2.3 Die Komponente „Situationsbewertung“ .....                                         | 120        |
| 4.3 Handlungsauswahl .....                                                               | 123        |
| 4.3.1 Die Komponente „Command mode“ .....                                                | 125        |
| 4.3.2 Die Komponente „Soll-Pedalstellungen“ .....                                        | 129        |
| 4.3.3 Die Komponente „Soll-Geschwindigkeit und -Beschleunigung“ .....                    | 129        |
| 4.4 Handlungsausführung.....                                                             | 131        |
| 4.4.1 Die Hauptkomponente „Regelsystem Längsführung“ .....                               | 132        |
| 4.4.2 Die Hauptkomponente „Beschränkungen der menschlichen Aktorik“ .....                | 135        |
| <b>5 Ergebnisse .....</b>                                                                | <b>137</b> |
| 5.1 Überprüfung des prinzipiellen Modellverhaltens .....                                 | 140        |
| 5.2 Überprüfung des Modellverhaltens mit Fahrerassistenz .....                           | 142        |
| <b>6 Prototypische Anwendung der Ergebnisse .....</b>                                    | <b>147</b> |
| 6.1 Die Bewertungsmethode „Virtuelle Probandenstudie“ .....                              | 147        |
| 6.2 Demonstration anhand eines Anwendungsbeispiels.....                                  | 149        |
| 6.2.1 Qualitativer Vergleich zur Erläuterung der Ergebnisse .....                        | 150        |
| 6.2.2 Quantitativer Vergleich zur Wirksamkeitsbewertung des Fahrerassistenzsystems ..... | 153        |
| <b>7 Zusammenfassung.....</b>                                                            | <b>159</b> |
| <b>8 Ausblick .....</b>                                                                  | <b>165</b> |

|                                                                           |            |
|---------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Literaturverzeichnis.....</b>                                          | <b>L-1</b> |
| <b>Anhang.....</b>                                                        | <b>A-1</b> |
| A.1 Ergänzungen zum Fahrerverhaltensmodell .....                          | A-1        |
| A.2 Eigenschaften der Stichproben aus den empirischen Erhebungen .....    | A-13       |
| A.3 Ergänzungen zur Modellparametrierung .....                            | A-16       |
| A.4 Ergänzungen zur Überprüfung des stochastischen Modellverhaltens ..... | A-47       |
| <b>Abbildungsverzeichnis.....</b>                                         | <b>F-1</b> |
| <b>Tabellenverzeichnis.....</b>                                           | <b>T-1</b> |



## Verwendete Formelzeichen

### Lateinische Größen

| Formelzeichen         | Bedeutung                                                                                                                                                                        | Einheit                    |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| $a$                   | <u>Mehrfachnennung:</u><br>Hilfsfunktion zur Berechnung des Faktors $F_{ET}$ (Adrian)<br>Lange Halbachse einer Ellipse (dimensionslos)<br>Relativbeschleunigung (im Allgemeinen) | s<br>-<br>m/s <sup>2</sup> |
| $A_{cir}$             | Projizierte Leuchtfläche eines Kreises                                                                                                                                           | rad <sup>2</sup>           |
| $a_{fov}$             | Koeffizient des fovealen Gesichtsfeldbereichs (Kegeldarstellung)                                                                                                                 | -                          |
| $A_{rec}$             | Projizierte Leuchtfläche eines Rechtecks                                                                                                                                         | rad <sup>2</sup>           |
| $A_x$                 | Parameter $A$ einer gammaverteilten Zufallsvariable $x$                                                                                                                          | -                          |
| $act_{lat}$           | Reglerausgangsgröße der Fahrzeugquerführung                                                                                                                                      | rad                        |
| $act_{lon}$           | Reglerausgangsgröße der Fahrzeuglängsführung                                                                                                                                     | -                          |
| $act_{lon,clc}$       | Anteil von $act_{lon}$ aus der kompensatorischen Regelung                                                                                                                        | -                          |
| $act_{lon,olc}$       | Anteil von $act_{lon}$ aus der antizipatorischen Steuerung                                                                                                                       | -                          |
| $\dot{act}_{lon,olc}$ | Zeitliche Ableitung von $act_{lon,olc}$                                                                                                                                          | 1/s                        |
| $act_{lon,olc,stat}$  | Stationärer Endwert von $act_{lon,olc}$                                                                                                                                          | -                          |
| $AEB_{acc}$           | Verzögerung der automatischen Teilbremsung (Nennwert)                                                                                                                            | m/s <sup>2</sup>           |
| $AEB_{act}$           | Aktivität der automatischen Teilbremsung                                                                                                                                         | -                          |
| $b$                   | Kurze Halbachse einer Ellipse (dimensionslos)                                                                                                                                    | -                          |
| $b_{fov}$             | Koeffizient des fovealen Gesichtsfeldbereichs (Kegeldarstellung)                                                                                                                 | -                          |
| $B_x$                 | Parameter $B$ einer gammaverteilten Zufallsvariable $x$                                                                                                                          | [x]                        |
| $BA_{act}$            | Aktivität des Bremsassistenten                                                                                                                                                   | -                          |
| $c_{fov}$             | Koeffizient des fovealen Gesichtsfeldbereichs (Kegeldarstellung)                                                                                                                 | -                          |
| $CL$                  | Kontrastlevel (im Allgemeinen)                                                                                                                                                   | -                          |
| $CL_{obs,fov}$        | Kontrastlevel des Hindernisses $obs$ im fovealen Gesichtsfeldbereich                                                                                                             | -                          |
| $CL_{obs,per}$        | Kontrastlevel des Hindernisses $obs$ im peripheren Gesichtsfeldbereich                                                                                                           | -                          |
| $CL_{opt,fov}$        | Kontrastlevel der optischen Warnung $opt$ im fovealen Gesichtsfeldbereich                                                                                                        | -                          |
| $CL_{opt,per}$        | Kontrastlevel der optischen Warnung $opt$ im peripheren Gesichtsfeldbereich                                                                                                      | -                          |
| $CL_{thr}$            | Wahrnehmungsschwelle des Kontrastlevels                                                                                                                                          | -                          |

| Formelzeichen         | Bedeutung                                                                                 | Einheit       |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| $CL_{thr,dyn}$        | Wahrnehmungsschwelle des Kontrastlevels für bewegte Objekte                               | -             |
| $col_{lat}$           | Antizipation eines lateralen Kollisionskurses                                             | -             |
| $col_{lon}$           | Antizipation eines longitudinalen Kollisionskurses                                        | -             |
| $col_{urg}$           | Kollisionsdringlichkeit                                                                   | -             |
| $com_{lat}$           | Schnittstelle von Führungsgrößen der Querführung                                          | -             |
| $com_{lon}$           | Schnittstelle von Führungsgrößen der Längsführung                                         | -             |
| $com_{mod}$           | <i>Command mode</i> der Längsführung                                                      | -             |
| $d_{aud}$             | Kognitive Verarbeitungszeit der akustischen Warnung <i>aud</i>                            | ms            |
| $d_{bli}$             | Lidschlagdauer                                                                            | ms            |
| $d_{bli,pre}$         | Blindzeit vor Lidschlagbeginn                                                             | ms            |
| $d_{env}$             | Fixationsdauer auf den vorausliegenden Verkehrsraum <i>env</i>                            | ms            |
| $D_i$                 | Interne Prüfgröße des Kolmogorov-Smirnov-Tests                                            | -             |
| $D_{max}$             | Maximalwert von $D_i$                                                                     | -             |
| $d_{mir}$             | Fixationsdauer der Rückspiegel                                                            | ms            |
| $d_{obj,jun,v}$       | Relativabstand zwischen Objekt <i>obj</i> und Trajektorienschnittpunkt <i>jun</i>         | m             |
| $\dot{d}_{obj,jun,v}$ | Relativgeschwindigkeit zwischen Objekt <i>obj</i> und Trajektorienschnittpunkt <i>jun</i> | m/s           |
| $d_{opt}$             | Fixationsdauer der optischen Warnung <i>opt</i>                                           | ms            |
| $d_{sac}$             | Sakkadendauer                                                                             | ms            |
| $d_{sac,pos}$         | Blindzeit vor Sakkadenbeginn                                                              | ms            |
| $d_{sac,pre}$         | Blindzeit nach Sakkadenende                                                               | ms            |
| $d_{spe}$             | Fixationsdauer des Kombiinstrumentes                                                      | ms            |
| $DAS_{act,aud}$       | Aktivität der akustischen Warnung <i>aud</i>                                              | -             |
| $DAS_{act,opt}$       | Aktivität der optischen Warnung <i>opt</i>                                                | -             |
| $DAS_{sta}$           | Objektiver Assistenzzustand des Fahrers                                                   | -             |
| $DAS_{sta,act}$       | Wahrgenommener Assistenzzustand durch den Fahrer                                          | -             |
| $dF_t$                | Freiheitsgrad der t-Verteilung                                                            | -             |
| $dF_\chi$             | Freiheitsgrad der $\chi^2$ -Verteilung                                                    | -             |
| $dri_{in,DAS}$        | Schnittstelle von Eingangssignalen der Fahrerassistenzsysteme                             | -             |
| $dri_{in,env}$        | Schnittstelle von Eingangssignalen der Verkehrsumgebung                                   | -             |
| $dri_{in,veh}$        | Schnittstelle von Eingangssignalen des Egofahrzeugs                                       | -             |
| $dri_{out,veh}$       | Schnittstellen der Ausgangssignale (zum Egofahrzeug)                                      | -             |
| $dw_{obj,cir}$        | Retinale Winkelbreite eines kreisrunden Objekts <i>obj</i>                                | Winkelminuten |
| $dw_{obj,H}$          | Retinale Winkelbreite der Objektbreite $w_{obj}$                                          | rad           |
| $\dot{dw}_{obj,H}$    | Expansionsrate der retinalen Winkelbreite $dw_{obj,H}$                                    | rad/s         |
| $\dot{dw}_{obj,thr}$  | Wahrnehmungsschwelle der Expansionsraten $dw_{obj,H}$ und $dw_{obj,V}$                    | rad/s         |
| $dw_{obj,V}$          | Retinale Winkelbreite der Objekthöhe $h_{obj}$                                            | rad           |



| Formelzeichen       | Bedeutung                                                                       | Einheit            |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| $\dot{dw}_{obj,V}$  | Expansionsrate der retinalen Winkelbreite $dw_{obj,V}$                          | rad/s              |
| $dw_{obs,H}$        | Retinale Winkelbreite des Hindernisses $obs$ in horizontaler Richtung           | rad                |
| $\dot{dw}_{obs,H}$  | Expansionsrate der retinalen Winkelbreite $dw_{obs,H}$                          | rad/s              |
| $\ddot{dw}_{obs,H}$ | Expansionsrate der retinalen Winkelgeschwindigkeit $\dot{dw}_{obs,H}$           | rad/s <sup>2</sup> |
| $dw_{obs,V}$        | Retinale Winkelbreite des Hindernisses $obs$ in vertikaler Richtung             | rad                |
| $dw_{opt}$          | Retinale Winkelbreite der optischen Warnung $opt$                               | rad                |
| $E$                 | Absoluter Schätzfehler der Stichprobenmittelwerte $\mu_x$                       | [x]                |
| $\hat{E}$           | Relativer Schätzfehler der Stichprobenmittelwerte $\mu_x$                       | -                  |
| $e$                 | Einheitsradius                                                                  | -                  |
| $\vec{e}$           | Einheitsvektor                                                                  | -                  |
| $f(x)$              | Verteilungs(dichte)funktion einer Zufallsvariable $x$                           | -                  |
| $f_{aud}$           | Tonfrequenz (im Allgemeinen)                                                    | Hz                 |
| $f_{aud,DAS}$       | Tonfrequenz der akustischen Warnung $aud$                                       | Hz                 |
| $F_{CP}$            | Umrechnungsfaktor zwischen positivem und negativem Kontrast (Adrian)            | -                  |
| $F_{env,H}$         | Korrekturfaktor des horizontalen Blickwinkels $\varphi_{env,H}$ im Laborversuch | -                  |
| $F_{env,V}$         | Korrekturfaktor des vertikalen Blickwinkels $\varphi_{env,V}$ im Laborversuch   | -                  |
| $F_{ET}$            | Umrechnungsfaktor zwischen statischem und dynamischem Kontrast (Adrian)         | -                  |
| $f_{FF}$            | Flimmerverschmelzungsfrequenz                                                   | Hz                 |
| $f_{obj}$           | Blink- bzw. Bildwiderholfrequenz eines Objekts $obj$                            | Hz                 |
| $f_{opt}$           | Blinkfrequenz der optischen Warnung $opt$                                       | Hz                 |
| $F_{whe,set}$       | Gesamtlängskraft in den Radaufstandspunkten aufgrund von $\ddot{x}_{veh,B,set}$ | N                  |
| $fov_{det}$         | Schnittstelle der fovealen Detektion visueller Reize                            | -                  |
| $fov_{det,obs}$     | Foveale Detektion des Hindernisses $obs$                                        | -                  |
| $fov_{det,opt}$     | Foveale Detektion der optischen Warnung $opt$                                   | -                  |
| $gear$              | Gewählte Getriebestufe                                                          | -                  |
| $h_{obj}$           | Geometrische Höhe eines Objekts $obj$                                           | m                  |
| $i_d$               | Übersetzung des Achsgetriebes                                                   | -                  |
| $i_g$               | Aktuelle Getriebeübersetzung                                                    | -                  |
| $k$                 | Umrechnungsfaktor der Kontrastwahrnehmungswahrscheinlichkeit (Adrian)           | -                  |
| $K_{bra,f}$         | Übersetzung <i>Bremspedalstellung</i> : <i>Bremsmoment</i> pro Vorderrad        | Nm                 |
| $K_{bra,r}$         | Übersetzung <i>Bremspedalstellung</i> : <i>Bremsmoment</i> pro Hinterrad        | Nm                 |
| $K_{LM}$            | Veränderungsfunktion der Flimmerverschmelzungsfrequenz $f_{FF}$                 | Hz                 |
| $K_{max}$           | Prüfgröße des Kolmogorov-Smirnov-Tests                                          | -                  |

| Formelzeichen         | Bedeutung                                                           | Einheit                         |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| $K_\alpha$            | Kritischer Wert von $K_{max}$                                       | -                               |
| $\sqrt{L}$            | Leuchtdichte-hilfsfunktion                                          | -                               |
| $\Delta L_{act}$      | Aktueller Leuchtdichteunterschied                                   | cd/m <sup>2</sup>               |
| $L_{aud,DAS}$         | Schalldruckpegel der akustischen Warnung <i>aud</i>                 | dB                              |
| $L_{aud,env}$         | Schallintensitäts-Dichte-Pegel eines Störgeräuschs                  | dB                              |
| $L_{aud,env,eff}$     | Effektiver Störschalldruckpegel                                     | dB                              |
| $L_{aud,mas}$         | Dynamische Mithörschwelle                                           | dB                              |
| $\Delta L_{aud,mas}$  | Dynamische Erhöhung der Mithörschwelle                              | dB                              |
| $L_{aud,mas,stat}$    | Stationäre Mithörschwelle                                           | dB                              |
| $L_{aud,thr}$         | Hörschwelle                                                         | dB                              |
| $\Delta L_{neg}$      | Dynamische Leuchtdichteunterschiedsschwelle für negativen Kontrast  | cd/m <sup>2</sup>               |
| $\Delta L_{neg,stat}$ | Stationäre Leuchtdichteunterschiedsschwelle für negativen Kontrast  | cd/m <sup>2</sup>               |
| $L_{obj}$             | Leuchtdichte eines Objekts <i>obj</i>                               | cd/m <sup>2</sup>               |
| $L_{obj,env}$         | Leuchtdichte der Umgebung des Objekts <i>obj</i>                    | cd/m <sup>2</sup>               |
| $L_{obj,m}$           | Mittlere Leuchtdichte eines Objekts <i>obj</i>                      | cd/m <sup>2</sup>               |
| $L_{obs}$             | Leuchtdichte des Hindernisses <i>obs</i>                            | cd/m <sup>2</sup>               |
| $L_{obs,env}$         | Leuchtdichte der Umgebung des Hindernisses <i>obs</i>               | cd/m <sup>2</sup>               |
| $L_{opt}$             | Leuchtdichte der optischen Warnung <i>opt</i>                       | cd/m <sup>2</sup>               |
| $L_{opt,env}$         | Leuchtdichte der Umgebung der optischen Warnung <i>opt</i>          | cd/m <sup>2</sup>               |
| $L_{opt,m}$           | Mittlere Leuchtdichte der optischen Warnung <i>opt</i>              | cd/m <sup>2</sup>               |
| $\Delta L_{pos}$      | Dynamische Leuchtdichteunterschiedsschwelle für positiven Kontrast  | cd/m <sup>2</sup>               |
| $\Delta L_{pos,stat}$ | Stationäre Leuchtdichteunterschiedsschwelle für positiven Kontrast  | cd/m <sup>2</sup>               |
| $l_{sac}$             | Sakkadenlatenz                                                      | ms                              |
| $M$                   | Kortikaler Vergrößerungsfaktor                                      | mm                              |
| $m$                   | <u>Mehrfachnennung:</u><br>Gesamtmasse des Egofahrzeugs             | kg                              |
|                       | Hilfsfunktion zur Berechnung des Faktors $F_{CP}$ (Adrian)          | cd/m <sup>2</sup> /Winkelminute |
| $M_{bra,max}$         | Maximales Gesamtbremsmoment                                         | Nm                              |
| $M_{bra,set}$         | Gesamtbremsmoment zur Deckung von $M_{whe,set}$                     | Nm                              |
| $M_{eng,drg}$         | Motorschleppmoment                                                  | Nm                              |
| $M_{eng,max}$         | Maximales Motormoment                                               | Nm                              |
| $M_{eng,set}$         | Motormoment zur Deckung von $M_{whe,set}$                           | Nm                              |
| $M_{norm}$            | Normierter kortikaler Vergrößerungsfaktor                           | -                               |
| $M_{whe,set}$         | Momentanforderung an den Rädern aufgrund von $\ddot{x}_{veh,B,set}$ | Nm                              |
| $m_x$                 | Parameter $m$ einer lognormalverteilten Zufallsvariable $x$         | [ $x$ ]                         |
| $mt_{ex}$             | Umsetzzeit auf eine erwartete Reaktionsaufforderung                 | ms                              |
| $mt_{sur}$            | Umsetzzeit auf eine überraschende Reaktionsaufforderung             | ms                              |



| Formelzeichen            | Bedeutung                                                                 | Einheit |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------|
| $\Delta mt_{sur,DAS}$    | Veränderung der Umsetzzeit $mt_{sur}$ durch den Einsatz Warnungen         | ms      |
| $n_{eng}$                | Motordrehzahl                                                             | rad/s   |
| $n_{eng,rng}$            | Bereich der möglichen Motordrehzahlen                                     | 1/min   |
| $n_{sac,obs}$            | Anzahl an Zwischensakkaden vor Blickzuwendung zum Hindernis $obs$         | -       |
| $\Delta n_{sac,obs,DAS}$ | Änderung von $n_{sac,obs}$ durch den Einsatz Warnungen                    | -       |
| $n_{sac,opt}$            | Anzahl an Zwischensakkaden vor Blickzuwendung zur optischen Warnung $opt$ | -       |
| $N$                      | Optimaler Stichprobenumfang (virtuelle Probandenstudie)                   | -       |
| $N_x$                    | Umfang der Stichprobe $x$ (Statistische Testverfahren)                    | -       |
| $num_g$                  | Aktuelle Getriebestufe                                                    | -       |
| $obs_{fix}$              | Blickfixation des Hindernisses durch den Fahrer                           | -       |
| $p$                      | Beobachtetes Signifikanzniveau                                            | -       |
| $\Delta p$               | Differenz aus Gas- und Bremspedalstellung                                 | -       |
| $P(x)$                   | Kumulative Wahrscheinlichkeit(sdichte) einer Zufallsvariable $x$          | -       |
| $\hat{P}(x)$             | Kumulierte relative Häufigkeit einer Zufallsvariable $x$                  | -       |
| $p_b$                    | Normierte Bremspedalstellung                                              | -       |
| $p_{b,max}$              | Maximaler Pedalweg des Bremspedals                                        | m       |
| $p_{b,raw}$              | Bremspedalstellung ohne Gradientenbeschränkung                            | -       |
| $p_{b,set}$              | Soll-Bremspedalstellung bei gesteuerter Fahrzeugkontrolle                 | -       |
| $p_c$                    | Normierte Kupplungspedalstellung                                          | -       |
| $p_{c,max}$              | Maximaler Pedalweg des Kupplungspedals                                    | m       |
| $P_{lon,clc}$            | Reglerverstärkung der kompensatorischen Regelung zur Längsführung         | s/m     |
| $\dot{p}_{max,dec}$      | Maximaler Pedalrücknahmegradien                                           | mm/s    |
| $\dot{p}_{max,inc}$      | Maximaler Pedalbetätigungsgradient                                        | mm/s    |
| $p_t$                    | Normierte Gaspedalstellung                                                | -       |
| $p_{t,max}$              | Maximaler Pedalweg des Gaspedals                                          | m       |
| $p_{t,raw}$              | Gaspedalstellung ohne Gradientenbeschränkung                              | -       |
| $p_{t,set}$              | Soll-Gaspedalstellung bei gesteuerter Fahrzeugkontrolle                   | -       |
| $\dot{p}_{x,max,dec}$    | Maximaler Rücknahmegradien von Pedal $x$                                  | 1/s     |
| $\dot{p}_{x,max,inc}$    | Maximaler Betätigungsgradient von Pedal $x$                               | 1/s     |
| $r$                      | Steigungskonstante/-parameter eines (Kreis-)Kegels                        | -       |
| $r_{dri,B}$              | Vektorielle Position des Fahrers $dri$ im Fahrzeugsystem $B$              | m       |
| $r_{dri,I}$              | Vektorielle Position des Fahrers $dri$ im Inertialsystem $I$              | m       |
| $r_{fov}$                | Steigungskonstante des fovealen Gesichtsfeldbereichs (Kegeldarstellung)   | -       |
| $r_H$                    | Horizontale Steigungskonstante eines elliptischen Kegels                  | -       |

| Formelzeichen          | Bedeutung                                                                          | Einheit                  |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| $R_i$                  | Rangplatz (Kolmogorov-Smirnov-Test)                                                | -                        |
| $r_{obj}$              | Radialer Abstand zwischen Sehachse $x_v$ und Objekt $obj$ (Lee)                    | m                        |
| $r_{obs,H}$            | Relativabstand zwischen Hindernis $obs$ und Fahrer $dri$                           | m                        |
| $\dot{r}_{obs,H}$      | Relativgeschwindigkeit zwischen Hindernis $obs$ und Fahrer $dri$                   | m/s                      |
| $r_{opt}$              | Polarer Abstand der optischen Warnung $opt$ von der Sehachse $x_v$ (dimensionslos) | -                        |
| $r_{per}$              | Steigungsparameter des peripheren Gesichtsfeldbereichs (Kegeldarstellung)          | -                        |
| $r_{stat}$             | Statischer Radhalbmesser                                                           | m                        |
| $r_v$                  | Vertikale Steigungskonstante eines elliptischen Kegels                             | -                        |
| $r_{veh,I}$            | Vektorielle Position des Egofahrzeugschwerpunkts im Inertialsystem $I$             | m                        |
| $rea_{std}$            | Beginn der Reaktion                                                                | -                        |
| $rbt_{min}$            | Unterer, physiologischer Grenzwert der Reaktions-Grundzeit                         | ms                       |
| $rbt_{sur}$            | Reaktions-Grundzeit auf eine überraschende Reaktionsaufforderung                   | ms                       |
| $\Delta rbt_{sur,DAS}$ | Veränderung der Reaktions-Grundzeit $rbt_{sur}$ durch Einsatz von Warnungen        | ms                       |
| $s$                    | <u>Mehrfachnennung:</u><br>Bahnkoordinate                                          | m                        |
|                        | Relativabstand (im Allgemeinen)                                                    | m                        |
| $\dot{s}_{act}$        | Aktuelle Ist-Bahngeschwindigkeit                                                   | m/s                      |
| $s_{set}$              | Bahnkoordinate der Soll-Trajektorie                                                | m                        |
| $\dot{s}_{set}$        | Soll-Geschwindigkeit des Egofahrzeugs (laut Soll-Trajektorie)                      | m/s                      |
| $s_x$                  | Parameter $s$ einer logarithmisch normalverteilten Zufallsvariable $x$             | [ $x$ ]                  |
| $sfm$                  | Angestrebter Sicherheitsabstand bei einer Zielbremsung                             | m                        |
| $sit_{urg}$            | Dringlichkeitsindex der Situationsbewertung                                        | -                        |
| $sti_{det}$            | Schnittstelle der Detektion<br>objektiv wahrnehmbarer Reize                        | -                        |
| $sti_{det,act}$        | Schnittstelle der Detektion subjektiv<br>wahrgenommener Reize                      | -                        |
| $sti_{det,aud}$        | Detektion der akustischen Warnung $aud$                                            | -                        |
| $sti_{det,obs}$        | Detektion des Hindernisses $obs$                                                   | -                        |
| $sti_{det,opt}$        | Detektion der optischen Warnung $opt$                                              | -                        |
| $t$                    | <u>Mehrfachnennung:</u><br>Darbietungsdauer eines sensorischen Reizes              | s                        |
|                        | (Simulations-)Zeit                                                                 | s                        |
| $t_{adj}$              | Dauer zwischen zwei Änderungen der Bremsverzögerung                                | ms                       |
| $t_{bli}$              | Lidschlaghäufigkeit                                                                | s bzw. $\text{min}^{-1}$ |



| Formelzeichen        | Bedeutung                                                                             | Einheit      |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| $t_{hea,dri}$        | Zeitlücke zwischen Fahrer <i>dri</i> und Trajektorienschnittpunkt <i>jun</i>          | s            |
| $t_{dF_t;1-\alpha}$  | t-Wert einer t-Verteilung vom Freiheitsgrad $dF_t$ beim Signifikanzniveau $\alpha$    | -            |
| $t_{hea,obj}$        | Optische Lücke zwischen Objekt <i>obj</i> und Trajektorienschnittpunkt <i>jun</i>     | s            |
| $t_{hea,sfm}$        | Zeitlücke des angestrebten Sicherheitsabstands <i>sfm</i>                             | s            |
| $\Delta t_{lat}$     | Zeitlicher Abstand des Passierens am Trajektorienschnittpunkt                         | s            |
| $\Delta t_{lat,aft}$ | Akzeptierter Schwellwert von $\Delta t_{lat}$ für das Passieren nach dem Hindernis    | s            |
| $\Delta t_{lat,bef}$ | Akzeptierter Schwellwert von $\Delta t_{lat}$ für das Passieren vor dem Hindernis     | s            |
| $T_{lon,olc}$        | Zeitkonstante der antizipatorischen Steuerung zur Längsführung                        | s            |
| $t_{mir}$            | Fixationshäufigkeit der Rückspiegel                                                   | s            |
| $t_s$                | Stoppzeit einer gleichmäßig verzögerten Bewegung                                      | s            |
| $t_{spe}$            | Fixationshäufigkeit des Kombiinstruments                                              | s            |
| $T_x$                | Rangsumme der Stichprobe <i>x</i> (Mann-Whitney-U-Test)                               | -            |
| $t_{\Delta x}$       | Prüfgröße des Levene-Tests                                                            | -            |
| $TTC$                | Time to collision                                                                     | s            |
| $U$                  | Prüfgröße des Mann-Whitney-U-Tests                                                    | -            |
| $v$                  | Relativgeschwindigkeit (im Allgemeinen)                                               | m/s          |
| $vis_{ind}$          | Visibility index der visuellen Wahrnehmung                                            | -            |
| $vis_{obs}$          | Sichtbarkeitsgrad des Hindernisses <i>obs</i>                                         | -            |
| $vis_{thr}$          | Wahrnehmungsschwelle des Sichtbarkeitsgrads $vis_{obs}$                               | -            |
| $w_{obj}$            | Geometrische Breite eines Objekts <i>obj</i>                                          | m            |
| $w_{obs}$            | Geometrische Breite des Hindernisses <i>obs</i>                                       | m            |
| $x$                  | Zufallsvariable                                                                       | [ <i>x</i> ] |
| $x_{cut,H}$          | Längskoordinate des Schnitts zwischen fovealem Gesichtsfeld und Hindernis             | m            |
| $x_{cut,H,min}$      | Scheitelpunkt des Schnitts zwischen fovealem Gesichtsfeld und Hindernis               | m            |
| $x_{dri,B}$          | Längskoordinate des Fahrers <i>dri</i> im Fahrzeugsystem <i>B</i>                     | m            |
| $\dot{x}_{dri,B}$    | Längsgeschwindigkeit des Fahrers <i>dri</i> im Fahrzeugsystem <i>B</i> (gleich Null!) | m/s          |
| $x_{dri,I}$          | Längskoordinate des Fahrers <i>dri</i> im Inertialsystem <i>I</i>                     | m            |
| $\dot{x}_{dri,I}$    | Längsgeschwindigkeit des Fahrers <i>dri</i> im Inertialsystem <i>I</i>                | m/s          |
| $x_{FB,H}$           | Konstruktiver Abstand zwischen Fahrer und vorderer Stoßstange                         | m            |
| $x_{jun,v}$          | Relativabstand zwischen Fahrer <i>dri</i> und Trajektorienschnittpunkt <i>jun</i>     | m            |

| Formelzeichen            | Bedeutung                                                                                 | Einheit          |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| $\dot{x}_{jun,v}$        | Relativgeschwindigkeit zwischen Fahrer <i>dri</i> und Trajektorienschnittpunkt <i>jun</i> | m/s              |
| $x_{obj,B}$              | Längskoordinate eines Objekts <i>obj</i> im Fahrzeugsystem <i>B</i>                       | m                |
| $x_{obj,I}$              | Längskoordinate eines Objekts <i>obj</i> im Inertialsystem <i>I</i>                       | m                |
| $x_{obj,v}$              | Relativabstand zwischen Auge und Objekt <i>obj</i> (Lee)                                  | m                |
| $\dot{x}_{obj,v}$        | Relativgeschwindigkeit zwischen Auge und Objekt <i>obj</i> (Lee)                          | m/s              |
| $\dot{x}_{obj,v,act}$    | Ist-Relativgeschwindigkeit zwischen Auge und Objekt <i>obj</i> (Lee)                      | m/s              |
| $\ddot{x}_{obj,v}$       | Relativbeschleunigung zwischen Auge und Objekt <i>obj</i> (Lee)                           | m/s <sup>2</sup> |
| $\Delta\ddot{x}_{obj,v}$ | Änderung der Relativbeschleunigung zwischen Fahrer und Objekt <i>obj</i> (Lee)            | m/s <sup>2</sup> |
| $\ddot{x}_{obj,v,set}$   | Soll-Relativbeschleunigung zwischen Auge und Objekt <i>obj</i> (Lee)                      | m/s <sup>2</sup> |
| $x_{obs,B}$              | Längskoordinate des Hindernisses <i>obs</i> im Fahrzeugsystem <i>B</i>                    | m                |
| $\dot{x}_{obs,B}$        | Längsgeschwindigkeit des Hindernisses <i>obs</i> im Fahrzeugsystem <i>B</i>               | m/s              |
| $x_{obs,H}$              | Längskoordinate des Hindernisses <i>obs</i> im Fahrersystem <i>H</i>                      | m                |
| $x_{obs,H,b}$            | Längskoordinate der relevanten Hinderniskante im Fahrersystem <i>H</i>                    | m                |
| $x_{obs,H,l}$            | Längskoordinate der linken Hinderniskante im Fahrersystem <i>H</i>                        | m                |
| $x_{obs,H,r}$            | Längskoordinate der rechten Hinderniskante im Fahrersystem <i>H</i>                       | m                |
| $x_{obs,I}$              | Längskoordinate des Hindernisses <i>obs</i> im Inertialsystem <i>I</i>                    | m                |
| $\dot{x}_{obs,I}$        | Längsgeschwindigkeit des Hindernisses <i>obs</i> im Inertialsystem <i>I</i>               | m/s              |
| $x_{obs,v}$              | Längskoordinate des Hindernisses <i>obs</i> im Blickkoordinatensystem <i>v</i>            | m                |
| $x_{set,I}$              | Längskoordinaten der Soll-Trajektorie im Inertialsystem <i>I</i>                          | m                |
| $x_{sfm,H}$              | Abstand zwischen Fahrer und angestrebtem Sicherheitsabstand <i>sfm</i>                    | m                |
| $x_{veh,I}$              | Längskoordinate des Egofahrzeugschwerpunkts im Inertialsystem <i>I</i>                    | m                |
| $\dot{x}_{veh,B}$        | Fahrgeschwindigkeit des Egofahrzeugs                                                      | m/s bzw. km/h    |
| $\dot{x}_{veh,B,set}$    | Soll-Geschwindigkeit des Egofahrzeugs                                                     | m/s              |
| $\ddot{x}_{veh,B,set}$   | Soll-Beschleunigung des Egofahrzeugs                                                      | m/s <sup>2</sup> |
| $\Delta x_y$             | Abweichungsbetrag vom Mittelwert $\mu_{x,y}$ einer Stichprobe <i>y</i> (Levene-Test)      | [ <i>x</i> ]     |
| $\Sigma x_y$             | Insgesamt beobachtete Häufigkeit der Merkmalsausprägungen <i>x<sub>y</sub></i>            | -                |



| Formelzeichen     | Bedeutung                                                                               | Einheit |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| $\Delta y$        | Querablage                                                                              | m       |
| $y_{dri,B}$       | Querkoordinate des Fahrers <i>dri</i> im<br>Fahrzeugsystem <i>B</i>                     | m       |
| $\dot{y}_{dri,B}$ | Quergeschwindigkeit des Fahrers <i>dri</i> im<br>Fahrzeugsystem <i>B</i> (gleich Null!) | m/s     |
| $y_{dri,I}$       | Querkoordinate des Fahrers <i>dri</i> im Inertialsystem <i>I</i>                        | m       |
| $\dot{y}_{dri,I}$ | Quergeschwindigkeit des Fahrers <i>dri</i> im<br>Inertialsystem <i>I</i>                | m/s     |
| $y_{obj,B}$       | Querkoordinate eines Objekts <i>obj</i> im<br>Fahrzeugsystem <i>B</i>                   | m       |
| $y_{obj,I}$       | Querkoordinate eines Objekts <i>obj</i> im<br>Inertialsystem <i>I</i>                   | m       |
| $y_{obs,B}$       | Querkoordinate des Hindernisses <i>obs</i> im<br>Fahrzeugsystem <i>B</i>                | m       |
| $\dot{y}_{obs,B}$ | Quergeschwindigkeit des Hindernisses <i>obs</i> im<br>Fahrzeugsystem <i>B</i>           | m/s     |
| $y_{obs,H}$       | Querkoordinate des Hindernisses <i>obs</i> im<br>Fahrersystem <i>H</i>                  | m       |
| $y_{obs,H,b}$     | Querkoordinate der relevanten Hinderniskante im<br>Fahrersystem <i>H</i>                | m       |
| $y_{obs,H,l}$     | Querkoordinate der linken Hinderniskante im<br>Fahrersystem <i>H</i>                    | m       |
| $y_{obs,H,r}$     | Querkoordinate der rechten Hinderniskante im<br>Fahrersystem <i>H</i>                   | m       |
| $y_{obs,I}$       | Querkoordinate des Hindernisses <i>obs</i> im<br>Inertialsystem <i>I</i>                | m       |
| $\dot{y}_{obs,I}$ | Quergeschwindigkeit des Hindernisses <i>obs</i> im<br>Inertialsystem <i>I</i>           | m/s     |
| $y_{obs,v}$       | Querkoordinate des Hindernisses <i>obs</i> im<br>Blickkoordinatensystem <i>v</i>        | m       |
| $y_{set,I}$       | Querkoordinaten der Soll-Trajektorie im<br>Inertialsystem <i>I</i>                      | m       |
| $y_{veh,I}$       | Querkoordinate des Egofahrzeugschwerpunkts im<br>Inertialsystem <i>I</i>                | m       |
| $\dot{y}_{veh,I}$ | Quergeschwindigkeit des Egofahrzeug-<br>schwerpunkts im Inertialsystem <i>I</i>         | m/s     |
| $z_{cut,H}$       | Höhenkoordinate des Schnitts zwischen fovealem<br>Gesichtsfeld und Hindernis            | m       |
| $z_{cut,H,min}$   | Scheitelpunkt des Schnitts zwischen fovealem<br>Gesichtsfeld und Hindernis              | m       |
| $z_{dri,B}$       | Höhenkoordinate der Fahreraugen im<br>Fahrzeugsystem <i>B</i>                           | m       |
| $z_{dri,I}$       | Höhenkoordinate der Fahreraugen im<br>Inertialsystem <i>I</i>                           | m       |
| $z_{obj,B}$       | Höhenkoordinate eines Objekts <i>obj</i> im<br>Fahrzeugsystem <i>B</i>                  | m       |
| $z_{obj,I}$       | Höhenkoordinate eines Objekts <i>obj</i> im<br>Inertialsystem <i>I</i>                  | m       |

| Formelzeichen | Bedeutung                                                                             | Einheit |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| $z_{obs,B}$   | Höhenkoordinaten des Hindernisses <i>obs</i> im<br>Fahrzeugsystem <i>B</i>            | m       |
| $z_{obs,H}$   | Höhenkoordinaten des Hindernisses <i>obs</i> im<br>Fahrsystem <i>H</i>                | m       |
| $z_{obs,H,m}$ | Mittelwert der Höhenkoordinaten des<br>Hindernisses <i>obs</i> im Fahrsystem <i>H</i> | m       |
| $z_{obs,I}$   | Höhenkoordinaten des Hindernisses <i>obs</i> im<br>Inertialsystem <i>I</i>            | m       |
| $z_{obs,v}$   | Höhenkoordinate des Hindernisses <i>obs</i> im<br>Blickkoordinatensystem <i>v</i>     | m       |
| $z_{veh,I}$   | Höhenkoordinate des Egofahrzeugschwerpunkts im<br>Inertialsystem <i>I</i>             | m       |
| $z_x$         | Transformierter z-Wert einer Zufallsvariable <i>x</i>                                 | -       |
| $z_p$         | Zur kumulativen Wahrscheinlichkeit <i>P</i> gehöriger<br>z-Wert                       | -       |



## Griechische Größen

| Formelzeichen        | Bedeutung                                                                                                                                                                                    | Einheit         |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| $\alpha$             | <u>Mehrfachnennung:</u><br>Signifikanzniveau<br>Winkel zwischen Fahrersehachse und<br>Objektbewegungsachse                                                                                   | -<br>rad        |
| $\dot{\alpha}$       | Winkelgeschwindigkeit von $\alpha$                                                                                                                                                           | rad/s           |
| $\beta$              | <u>Mehrfachnennung:</u><br>Hilfsfunktion zur Berechnung des Faktors $F_{CP}$<br>(Adrian)<br>Kreuzungswinkel der Trajektorien von Fahrer <i>dri</i><br>und Objekt <i>obj</i><br>Schwimmwinkel | -<br>rad<br>rad |
| $\gamma$             | Winkel zwischen Fahrersehachse und<br>Fahrerbewegungsachse                                                                                                                                   | rad             |
| $\dot{\gamma}$       | Winkelgeschwindigkeit von $\gamma$                                                                                                                                                           | rad/s           |
| $\delta_h$           | Lenkradwinkel                                                                                                                                                                                | rad             |
| $\delta_{h,R}$       | Lenkradwinkelanteil der kompensatorischen<br>Regelung (Donges)                                                                                                                               | rad             |
| $\delta_{h,S}$       | Lenkradwinkelanteil der antizipatorischen<br>Steuerung (Donges)                                                                                                                              | rad             |
| $\delta_{h,Z}$       | Lenkradwinkelrestgröße (Donges)                                                                                                                                                              | rad             |
| $\varepsilon$        | Numerische Exzentrizität einer Ellipse                                                                                                                                                       | -               |
| $\varepsilon_{obs}$  | Winkel zwischen Hindernis <i>obs</i> und Längsachse $x_H$<br>des Koordinatensystems $H$                                                                                                      | rad             |
| $\zeta$              | Neigungswinkel zwischen den Koordinatenachsen<br>$y_v$ und $w_v$ (bzw. Polarwinkel der optischen Warnung<br><i>opt</i> im Gesichtsfeld)                                                      | rad             |
| $\eta_{obj}$         | Längengrad der retinalen Projektion <i>obj'</i> (Lee)                                                                                                                                        | rad             |
| $\dot{\eta}_{obj}$   | Zeitliche Ableitung des Längengrads der retinalen<br>Projektion <i>obj'</i> (Lee)                                                                                                            | rad/s           |
| $\theta$             | Verdrehung des Radius $r_E$ gegenüber der<br>Vertikalachse $z_v$ (Lee)                                                                                                                       | rad             |
| $\theta_{obj}$       | Breitengrad der retinalen Projektion <i>obj'</i> (Lee)                                                                                                                                       | rad             |
| $\dot{\theta}_{obj}$ | Zeitliche Ableitung des Breitengrads der retinalen<br>Projektion <i>obj'</i> (Lee)                                                                                                           | rad/s           |
| $\Delta\kappa$       | Bahnkrümmungsfehler                                                                                                                                                                          | 1/m             |
| $\kappa_{set}$       | Soll-Bahnkrümmung der Trajektorie des<br>Egofahrzeugs                                                                                                                                        | 1/m             |
| $\lambda_x$          | Parameter $\lambda$ einer Poisson-verteilten<br>Zufallsvariable $x$                                                                                                                          | -               |
| $M_x$                | Populationsmittelwert einer Zufallsvariable $x$                                                                                                                                              | [x]             |
| $\mu_x$              | (Stichproben-)Mittelwert einer (normalverteilten)<br>Zufallsvariable $x$                                                                                                                     | [x]             |
| $\Sigma_x$           | Populationsstandardabweichung einer<br>Zufallsvariable $x$                                                                                                                                   | [x]             |

| Formelzeichen           | Bedeutung                                                                             | Einheit       |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| $\sigma_x$              | (Stichproben-)Standardabweichung einer (normalverteilten) Zufallsvariable $x$         | [ $x$ ]       |
| $\tau$                  | Optische Variable $\tau$ (zum Objekt <i>obj</i> ; Lee)                                | s             |
| $\dot{\tau}$            | Zeitliche Ableitung der optischen Variable $\tau$ (zum Objekt <i>obj</i> ; Lee)       | -             |
| $\Delta\dot{\tau}$      | Änderung von $\dot{\tau}$ durch Änderung der Beschleunigung                           | -             |
| $\tau_{act}$            | Ist-Wert der optischen Variable $\tau$ (zum Objekt <i>obj</i> ; Lee)                  | s             |
| $\dot{\tau}_{act}$      | Ist-Wert der abgeleiteten optischen Variable $\tau$ (zum Objekt <i>obj</i> ; Lee)     | -             |
| $\tau_{min,brake}$      | Subjektiver Schwellwert von $\tau$ zum Hindernis <i>obs</i> für die Bremsbetätigung   | s             |
| $\tau_{min,throttle}$   | Subjektiver Schwellwert von $\tau$ zum Hindernis <i>obs</i> für die Gaspedalrücknahme | s             |
| $\dot{\tau}_{set}$      | Soll-Wert der abgeleiteten optischen Variable $\tau$ (zum Objekt <i>obj</i> ; Lee)    | -             |
| $\tau_{stop}$           | Optische Variable $\tau$ zum Stoppunkt der Bremsreaktion                              | s             |
| $\tau_{thr,H}$          | Wahrnehmungsschwelle von $\tau$ in horizontaler Richtung                              | s             |
| $\tau_{thr,V}$          | Wahrnehmungsschwelle von $\tau$ in vertikaler Richtung                                | s             |
| $\Phi$                  | Kurswinkel des Egofahrzeugs                                                           | rad           |
| $\Delta\Phi$            | Kurswinkelfehler                                                                      | rad           |
| $\sqrt{\Phi}$           | Lichtstromhilfsfunktion                                                               | Winkelminuten |
| $\varphi_{aud,H}$       | Horizontaler Winkel der akustischen Warnung bzgl. Fahrerkoordinatensystem             | rad           |
| $\varphi_{env,H}$       | Horizontaler Blickwinkel bei Fixation des vorausliegenden Verkehrsraums               | rad           |
| $\Delta\varphi_{env,H}$ | Änderung des horizontalen Blickwinkels bzgl. vorausliegendem Verkehrsraum             | rad           |
| $\varphi_{env,V}$       | Vertikaler Blickwinkel bei Fixation des vorausliegenden Verkehrsraums                 | rad           |
| $\Delta\varphi_{env,V}$ | Änderung des vertikalen Blickwinkels bzgl. vorausliegendem Verkehrsraum               | rad           |
| $\varphi_{ext}$         | Öffnungswinkel eines (Kreis-)Kegels                                                   | rad           |
| $\varphi_{fov}$         | Öffnungswinkel des fovealen Gesichtsfeldbereichs (Kegeldarstellung)                   | rad           |
| $\varphi_H$             | Horizontaler Blickwinkel                                                              | rad           |
| $\Delta\varphi_H$       | Änderung des horizontalen Blickwinkels                                                | rad           |
| $\varphi_{mir,l,H}$     | Horizontaler Winkel des linken Außenspiegels bzgl. Fahrerkoordinatensystem            | rad           |
| $\varphi_{mir,l,V}$     | Vertikaler Winkel des linken Außenspiegels bzgl. Fahrerkoordinatensystem              | rad           |
| $\varphi_{mir,m,H}$     | Horizontaler Winkel des Innenspiegels bzgl. Fahrerkoordinatensystem                   | rad           |



| Formelzeichen             | Bedeutung                                                                                          | Einheit |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| $\varphi_{mir,m,V}$       | Vertikaler Winkel des Innenspiegels bzgl. Fahrerkoordinatensystem                                  | rad     |
| $\varphi_{mir,r,H}$       | Horizontaler Winkel des rechten Außenspiegels bzgl. Fahrerkoordinatensystem                        | rad     |
| $\varphi_{mir,r,V}$       | Vertikaler Winkel des rechten Außenspiegels bzgl. Fahrerkoordinatensystem                          | rad     |
| $\hat{\varphi}_{obj}$     | Exzentrizitätswinkel eines Objekts <i>obj</i> zur Sehachse                                         | rad     |
| $\dot{\varphi}_{obj}$     | Gradient des Exzentrizitätswinkels eines Objekts <i>obj</i> zur Sehachse                           | rad/s   |
| $\varphi_{obj,H}$         | Horizontale Blickwinkelposition eines Objekts <i>obj</i> bzgl. Sehachse                            | rad     |
| $\dot{\varphi}_{obj,thr}$ | Wahrnehmungsschwelle des Gradienten $\dot{\varphi}_{obj}$                                          | rad/s   |
| $\varphi_{obj,V}$         | Vertikale Blickwinkelposition eines Objekts <i>obj</i> bzgl. Sehachse                              | rad     |
| $\hat{\varphi}_{obs}$     | Exzentrizitätswinkel des Hindernisses <i>obs</i> zur Sehachse $x_v$                                | rad     |
| $\hat{\varphi}_{opt}$     | Exzentrizitätswinkel der optischen Warnung <i>opt</i> zur Sehachse $x_v$                           | rad     |
| $\varphi_{opt,H}$         | Horizontaler Winkel der optischen Warnung bzgl. Fahrerkoordinatensystem <i>H</i>                   | rad     |
| $\tilde{\varphi}_{opt,H}$ | Horizontaler Winkel der optischen Warnung bzgl. Blickkoordinatensystem <i>v</i>                    | rad     |
| $\varphi_{opt,V}$         | Vertikaler Winkel der optischen Warnung bzgl. Fahrerkoordinatensystem <i>H</i>                     | rad     |
| $\tilde{\varphi}_{opt,V}$ | Vertikaler Winkel der optischen Warnung bzgl. Blickkoordinatensystem <i>v</i>                      | rad     |
| $\varphi_{per,H}$         | Horizontaler Öffnungswinkel des peripheren Gesichtsfeldbereichs                                    | rad     |
| $\varphi_{per,V}$         | Vertikaler Öffnungswinkel des peripheren Gesichtsfeldbereichs                                      | rad     |
| $\Phi_{set}$              | Soll-Kurswinkel                                                                                    | rad     |
| $\varphi_{spe,H}$         | Horizontaler Winkel des Kombiinstruments bzgl. Fahrerkoordinatensystem                             | rad     |
| $\varphi_{spe,V}$         | Vertikaler Winkel des Kombiinstruments bzgl. Fahrerkoordinatensystem                               | rad     |
| $\varphi_V$               | Vertikaler Blickwinkel                                                                             | rad     |
| $\Delta\varphi_V$         | Änderung des vertikalen Blickwinkels                                                               | rad     |
| $X^2_{dF_X;1-\alpha}$     | $\chi^2$ -Wert einer $\chi^2$ -Verteilung vom Freiheitsgrad $dF_X$ beim Signifikanzniveau $\alpha$ | -       |
| $X^2_x$                   | Prüfgröße des $\chi^2$ -Unabhängigkeitstests                                                       | -       |
| $\psi$                    | Gierwinkel                                                                                         | rad     |
| $\dot{\psi}$              | Gierrate                                                                                           | rad/s   |

# Notationsschlüssel

| Index      | Bedeutung                                                        | abgeleitet von            |
|------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 1          | Kennzeichnung eines Zustands vor einer differentiellen Änderung  | -                         |
| 2          | Kennzeichnung eines Zustands nach einer differentiellen Änderung | -                         |
| <i>acc</i> | Beschleunigung                                                   | acceleration              |
| <i>act</i> | Kennzeichnung von Zustands- oder wahrgenommenen Größen           | actual                    |
| <i>adj</i> | Anpassung                                                        | adjustment                |
| <i>aft</i> | nach (räumlich)                                                  | after                     |
| <i>aud</i> | Akustische Größe                                                 | audible                   |
| <i>B</i>   | Fahrzeugsystem                                                   | body                      |
| <i>b</i>   | Bremspedal                                                       | brake                     |
| <i>bef</i> | vor (räumlich)                                                   | before                    |
| <i>bli</i> | Lidschlag                                                        | blink                     |
| <i>bra</i> | Bremse                                                           | brake                     |
| <i>c</i>   | Kupplungspedal                                                   | clutch                    |
| <i>cir</i> | kreisförmig                                                      | circular                  |
| <i>clc</i> | Regelung                                                         | closed loop control       |
| <i>CP</i>  | Umrechnung positive in negative Kontrastwahrnehmung              | contrast polarity         |
| <i>cut</i> | Schnittebene                                                     | cut                       |
| <i>d</i>   | Achsgetriebe                                                     | differential              |
| <i>DAS</i> | Fahrerassistenzsysteme                                           | driver assistance systems |
| <i>dec</i> | Rücknahme, Abnahme                                               | decreasing                |
| <i>det</i> | Detektion                                                        | detection                 |
| <i>drg</i> | Schleppmoment                                                    | drag                      |
| <i>dri</i> | Fahrer                                                           | driver                    |
| <i>dyn</i> | Kennzeichnung bewegter Objekte                                   | dynamic                   |
| <i>eff</i> | Effektivwert                                                     | effective                 |
| <i>eng</i> | Motor                                                            | engine                    |
| <i>env</i> | (Verkehrs-)Umgebung, Hintergrund, Störsignal                     | environment               |
| <i>ext</i> | Öffnung, Ausdehnung                                              | extent                    |
| <i>ET</i>  | Darbietungszeit                                                  | exposure time             |
| <i>ex</i>  | Erwartete Reaktionsaufforderung                                  | expected                  |
| <i>FB</i>  | Vordere Stoßstange                                               | front bumper              |
| <i>FF</i>  | Flimmerverschmelzungsfrequenz                                    | flicker fusion            |
| <i>f</i>   | Vorderräder                                                      | front                     |
| <i>fix</i> | Blickfixation (des Hindernisses)                                 | fixation                  |
| <i>fov</i> | Kennzeichnung des fovealen Gesichtsfeldbereichs                  | foveal                    |
| <i>g</i>   | Getriebe                                                         | gear                      |
| <i>H</i>   | Fahrersystem bzw. horizontaler Blickwinkel                       | horizontal                |
| <i>h</i>   | Lenkradwinkel                                                    | hand                      |