

Hermann Winner | Stephan Hakuli | Gabriele Wolf (Hrsg.)

Handbuch Fahrerassistenz- systeme

Grundlagen, Komponenten und Systeme
für aktive Sicherheit und Komfort

ATZ

PRAXIS



Hermann Winner | Stephan Hakuli | Gabriele Wolf (Hrsg.)

Handbuch Fahrerassistenz- systeme

Grundlagen, Komponenten und Systeme
für aktive Sicherheit und Komfort

ATZ

PRAXIS



**VIEWEG+
TEUBNER**



Hermann Winner | Stephan Hakuli | Gabriele Wolf (Hrsg.)

Handbuch Fahrerassistenzsysteme

Handbuch Verbrennungsmotor

herausgegeben von R. van Basshuysen und F. Schäfer

Lexikon Motorentechnik

herausgegeben von R. van Basshuysen und F. Schäfer

Ottomotor mit Direkteinspritzung

herausgegeben von R. van Basshuysen

Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik

herausgegeben von H.-H. Braess und U. Seiffert

Bremsenhandbuch

herausgegeben von B. Breuer und K. H. Bill

Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik

von H. Eichseder und M. Klell

Umweltschutz in der Automobilindustrie

von D. Gruden

Fahrwerkhandbuch

herausgegeben von B. Heißing und M. Ersoy

Aerodynamik des Automobils

herausgegeben von W.-H. Hucho

Verbrennungsmotoren

von E. Köhler und R. Flierl

Passive Sicherheit von Kraftfahrzeugen

von F. Kramer

Fahrzeugreifen und Fahrwerkentwicklung

von G. Leister

Automobilelektronik

herausgegeben von K. Reif

Virtuelle Produktentstehung für Fahrzeug und Antrieb im Kfz

herausgegeben von U. Seiffert und G. Rainer

Rennwagentechnik

von M. Trzesniowski

Handbuch Kraftfahrzeugelektronik

herausgegeben von H. Wallentowitz und K. Reif

Bussysteme in der Fahrzeugtechnik

von W. Zimmermann und R. Schmidgall

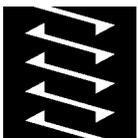
Hermann Winner | Stephan Hakuli | Gabriele Wolf (Hrsg.)

Handbuch Fahrerassistenz- systeme

Grundlagen, Komponenten und Systeme
für aktive Sicherheit und Komfort

Mit 550 Abbildungen und 45 Tabellen

PRAXIS | ATZ/MTZ-Fachbuch



VIEWEG+
TEUBNER

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.

Dieses Werk entstand mit freundlicher Unterstützung der Continental AG, Division Chassis & Safety.

1. Auflage 2009

Alle Rechte vorbehalten

© Vieweg+Teubner | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2009

Lektorat: Ewald Schmitt | Gabriele McLemore

Vieweg+Teubner ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.

www.viewegteubner.de



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Umschlaggestaltung: KünkelLopka Medienentwicklung, Heidelberg

Satz: Klementz publishing services, Gundelfingen

Druck und buchbinderische Verarbeitung: STRAUSS GMBH, Mörlenbach

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Printed in Germany

ISBN 978-3-8348-0287-3

Vorwort

Fahrerassistenzsysteme haben sich in den letzten Jahren rasant entwickelt und sind fester Bestandteil in vielen heutigen Fahrzeugmodellen aller Fahrzeugklassen. Forschung und Entwicklung in Unternehmen und Universitäten beschäftigen sich mit der Optimierung der bestehenden Systeme und mit Weiterentwicklungen, die dem Fahrer ein noch höheres Maß an Assistenz und Unterstützung bieten sollen. Zeugnis dieser Arbeiten legen die vielen wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Tagungsbeiträge ab, doch eine umfassende Darstellung des heutigen Stands der Technik sowie der Grundlagen für die Entwicklung solcher Systeme suchte man bisher im deutschsprachigen Raum vergeblich. Zwar existieren einige Fachbücher, die sich mit Fahrerassistenzsystemen beschäftigen, doch sind diese stark auf einzelne Aspekte wie z. B. die Regelung solcher Systeme fokussiert. Aufbauend auf den Inhalten der Vorlesung Fahrerassistenzsysteme, die ich seit 2002 am Fachgebiet Fahrzeugtechnik der Technischen Universität Darmstadt (FZD) halte (seit dem Sommersemester 2008 mit erweitertem Umfang unter dem Titel Mechatronik und Assistenzsysteme im Automobil), wurde die Gliederung des vorliegenden Handbuchs Fahrerassistenzsysteme entwickelt.

Der Umfang der Thematik machte es erforderlich, die inhaltliche Arbeit auf viele Schultern zu verteilen, und so halten Sie nun ein Werk in Händen, dessen 44 Kapitel von insgesamt 95 Experten aus Industrie und Wissenschaft geschrieben wurden. Diese Autoren sind es, denen ich in erster Linie zu Dank verpflichtet bin, denn ohne ihre Bereitschaft, Zeit und Mühen in die Erstellung der Manuskripte zu investieren, hätte dieses Buch nicht entstehen können.

An einem solchen Projekt sind jedoch noch mehr Menschen beteiligt, und ich möchte es nicht versäumen, allen in diesem Vorwort für ihren Beitrag zu danken.

Ganz besonders zu Dank verpflichtet bin ich meinen beiden Mit-Herausgebern Herrn Stephan Hakuli und Frau Gabriele Wolf, in deren Händen die Organisation und alle operativen Aufgaben dieses Projekts von der Autorenbetreuung über die Zusammenarbeit mit dem Verlag bis zur Erstellung des Gesamtmanuskripts lagen. Für ihr ausgezeichnetes Projektmanagement und ihre Bereitschaft, diese zusätzlichen Aufgaben neben ihrer Arbeit als wissenschaftliche Mitarbeiter am Fachgebiet Fahrzeugtechnik auf sich zu nehmen, danke ich ihnen sehr herzlich. Frau Wolf danke ich darüber hinaus, dass sie den Anstoß dazu gab, dieses von mir in Gedanken schon länger gehegte Projekt in die Tat umzusetzen.

Dem Verlag Vieweg+Teubner danke ich für die Bereitschaft, dieses Handbuch herauszugeben. Für die angenehme Zusammenarbeit und kompetente Betreuung sei Herrn Ewald Schmitt, Frau Elisabeth Lange und Frau Gabriele McLemore gedankt.

Das Lektorat für dieses Buch wurde von Susanne und Katharina Mitteldorf durchgeführt. Ihre sorgfältige und aufmerksame Prüfung hat die hohe sprachliche Qualität der Texte ermöglicht, und dafür sowie die angenehme Zusammenarbeit bedanke ich mich sehr herzlich bei ihnen.

Herrn Danijel Pusic danke ich für seine Mitarbeiter bei der Konzeption des Buches und der Erarbeitung der Gliederung. Unterstützt wurden die Arbeiten an diesem Handbuch in vielfältiger Weise durch die studentischen Hilfskräfte Herrn Johannes Götzelmann, Herrn Richard Hurst, Frau Hyuliya Rashidova und Herrn Philip Weick. Auch ihnen sei gedankt.

Ich bedanke mich außerdem bei allen FZD-Mitarbeitern, die durch Korrekturlesen, fachliche Diskussionen oder sonstige hilfreiche Beiträge an der Entstehung dieses Buchs mitgewirkt haben.

Darmstadt, im Mai 2009

Prof. Dr. rer. nat. *Hermann Winner*

Die Herausgeber

Prof. Dr. rer. nat. **Hermann Winner** studierte Physik an der Westfälischen-Wilhelms-Universität (WWU) in Münster/Westfalen. Anschließend arbeitete er als wissenschaftlicher Assistent am Institut für Angewandte Physik der WWU Münster, wo er 1987 für seine Arbeit über die „Dynamik der Domänenwände in metallischen Ferromagnetika“ promoviert wurde.

Von 1987 bis 1994 arbeitete Hermann Winner bei der Robert Bosch GmbH in Karlsruhe, Ettlingen und Schwieberdingen in der Vorentwicklung von Mess- und Informationstechnik und war dabei u. a. verantwortlich für die Projekte PROMETHEUS-Drive-by-Wire, die Elektrohydraulische Bremse und Adaptive Cruise Control. In seiner Funktion als Leiter der Serienentwicklung von Adaptive Cruise Control lag sein Schwerpunkt auf Systementwicklung und Applikation und er führte das System schließlich zur Serie. In den Jahren 1993 bis 2001 war Hermann Winner außerdem Experte bei der ISO/TC204/WG14 – Vehicle/Roadway Warning and Control Systems – davon fünf Jahre als Leiter der deutschen Spiegelgruppe AK I.14 des FAKRA.

Seit 2002 ist Hermann Winner Inhaber des Lehrstuhls für Fahrzeugtechnik an der Technischen Universität Darmstadt und Leiter des gleichnamigen Fachgebiets (FZD). Er baute dort die Forschung auf dem Gebiet der Fahrerassistenzsysteme aus, das heute eine der Kernkompetenzen von FZD darstellt. Dies zeigt sich anhand zahlreicher, erfolgreich durchgeführter Forschungsprojekte mit der Automobil- und Zulieferindustrie zu den Themen Umfeldsensorik, Funktionsbewertungen von Notbrems-, Notausweich- und Einbiege-/Kreuzen-Assistenz sowie Systemarchitektur von Fahrerassistenzsystemen.

Stephan Hakuli studierte Physik an der TU Darmstadt und schloss 2005 als Diplomingenieur der Physik ab. In seiner Diplomarbeit konzipierte und realisierte er ein Verfahren zur gescannten Belichtung und Vermessung holographischer Head-up-Displays. Seit Dezember 2005 arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Fahrzeugtechnik und koordinierte zwei Jahre lang die Lehraktivitäten des Fachgebiets. Im Rahmen seiner Forschungstätigkeit beschäftigt er sich mit Conduct-by-Wire, einem integrierten Fahrerassistenzkonzept für manöverbasierte Fahrzeugführung. [Foto: Fischer, Weinheim]

Gabriele Wolf studierte Wirtschaftsingenieurwesen Fachrichtung Maschinenbau an der TU Darmstadt und der TU Eindhoven. Sie ist seit Januar 2004 als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fachgebiet Fahrzeugtechnik, wo sie sich zunächst im Rahmen eines interdisziplinären Projekts mit Innovationspotenzialen im Fahrwerk beschäftigte. Im Bereich der Fahrerassistenzsysteme befasst sie sich mit der Bewertung von Systemen zur Unfallvermeidung, wobei sowohl technische als auch wirtschaftliche und gesellschaftliche Aspekte berücksichtigt werden.

[Foto: Fischer, Weinheim]



Autorenverzeichnis

Abendroth, Bettina, Dr.-Ing.	Technische Universität Darmstadt
Auer, Richard, Dr. rer. nat.	Volkswagen AG
Bachmann, Alexander, MSc	Universität Karlsruhe (TH)
Bachmann, Jürgen, Dipl.-Ing. (FH)	BMW Motorrad
Bartels, Arne, Dr.-Ing.	Volkswagen AG
Bayer, Bernward, Dr.-Ing.	Continental AG
Bender, Eva, Dr.-Ing.	Continental AG
Bielefeld, Jürgen, Dr.	BMW Group
Bock, Thomas, Dr.-Ing.	Audi AG
Brenner, Peter, Dipl.-Ing. (FH)	ZF Lenksysteme GmbH
Breuer, Jörg, Dr.-Ing.	Daimler AG
Brosig, Stefan, Dr.-Ing.	Volkswagen AG
Bruder, Ralph, Prof. Dr.-Ing.	Technische Universität Darmstadt
Büring, Hendrik, Dipl.-Ing. (TH)	ZF Lenksysteme GmbH
Büse, Axel, Dipl.-Ing.	Continental AG
Buxbaum, Bernd, Dr.	PMD Technologies GmbH
Danner, Bernd, Dipl.-Ing.	Daimler AG
Darms, Michael, Dr.-Ing.	Continental AG
Didier, Muriel, Dr.	Technische Universität Darmstadt
Donges, Edmund, Dr.-Ing.	vormals BMW AG
Dörner, Karlheinz, Dipl.-Ing.	MAN Nutzfahrzeuge AG
Duchow, Christian, Dipl.-Ing.	Universität Karlsruhe (TH)
Eckert, Alfred, Dipl.-Ing.	Continental AG
Fechner, Thomas, Dipl.-Ing.	Continental AG
Flemisch, Frank, Dr.-Ing.	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Gasser, Tom Michael, Ass. jur.	Bundesanstalt für Straßenwesen
Gayko, Jens E., Dr.-Ing.	Honda R&D Europe (Deutschland) GmbH
Geduld, Georg	vormals Omron Electronics GmbH
Gelau, Christhard, Dr.	Bundesanstalt für Straßenwesen
Gruber, Steffen, Dipl.-Ing.	Continental AG
Hakuli, Stephan, Dipl.-Ing.	Technische Universität Darmstadt
Hecker, Falk, Dr.	Knorr-Bremse
Hellmann, Wladimir, Dipl.-Ing.	Continental AG
Hipp, Eberhard, Dipl.-Ing.	MAN Nutzfahrzeuge AG
Hoffmann, Jens, Dr.-Ing.	Continental AG

Autorenverzeichnis

Hopstock, Matthias, Dipl.-Ing.	BMW Group
Huhn, Wolfgang, Dr.	Audi AG
Isermann, Rolf, Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c.	Technische Universität Darmstadt
Kammel, Sören, Dr.-Ing.	vormals Universität Karlsruhe (TH)
Katzwinkel, Reiner, Dipl.-Ing.	Volkswagen AG
Kersken, Ulrich, Dipl.-Ing.	Robert Bosch Car Multimedia GmbH
Khanh, Tran Quoc, Prof. Dr.-Ing.	Technische Universität Darmstadt
Klanner, Felix, Dr.-Ing.	BMW Group
Kleine-Besten, Thomas, Dr.-Ing.	Robert Bosch Car Multimedia GmbH
Knoll, Peter, Prof. Dr.-Ing.	Universität Karlsruhe (TH)
	IF+F Ingenieurbüro für
	Fahrerassistenz und Fahrerinformation
	BMW Group
Köhn, Philip, Dr.-Ing.	Robert Bosch GmbH
König, Winfried, Dr.-Ing.	Robert Bosch GmbH
Kost, Friedrich, Dipl.-Ing.	vormals Technische Universität Darmstadt
Landau, Kurt, Prof. Dr.-Ing.	PMD Technologies GmbH
Lange, Robert, Dr.-Ing.	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Löper, Christian, Dipl.-Ing.	TRW Automotive
Mages, Mark, Dr.-Ing.	Technische Universität Braunschweig
Maurer, Markus, Prof. Dr.-Ing.	Robert Bosch GmbH
Mörbe, Matthias, Dipl.-Ing.	Robert Bosch GmbH
Noll, Martin, Dr.	Continental AG
Ocvirk, Norbert, Dipl.-Ing.	Continental AG
Piller, Bernd, Dipl.-Ing.	Robert Bosch Car Multimedia GmbH
Pöchmüller, Werner, Dr.-Ing.	Robert Bosch GmbH
Rapps, Peter, Dipl.-Phys.	Continental AG
Raste, Thomas, Dr.	Technische Universität München
Rausch, Herbert, Dr.-Ing.	vormals BMW AG
Reichart, Günter, Dr.-Ing.	ZF Lenksysteme GmbH
Reimann, Gerd, Dipl.-Ing. (TH)	BMW Motorrad
Reissing, Jörg, Dr.-Ing.	Continental AG
Remfrey, James, Dipl.-Ing.	BMW Group
Richter, Thorsten, Dipl.-Ing.	Continental AG
Rieth, Peter E., Dr.-Ing.	PMD Technologies GmbH
Ringbeck, Thorsten, Dr.-Ing.	Volkswagen AG
Rohlf, Michael, Dr.-Ing.	Robert Bosch Car Multimedia GmbH
Schepers, Heiner, Dipl.-Ing. (BA)	Technische Universität Darmstadt
Schiele, Bernt, Prof. Dr.	Continental AG
Schmitt, Stefan, Dipl.-Ing.	

Schmittner, Bernhard, Dipl.-Ing.	Continental AG
Schöning, Volkmar, Dipl.-Ing.	Volkswagen AG
Schorn, Matthias, Dr.-Ing.	Continental AG
Schreiber, Michael, Dipl.-Wirtsch.-Ing.	Technische Universität Darmstadt
Schroven, Frank, Dipl.-Ing.	Volkswagen AG
Schwertberger, Walter, Dipl.-Ing. (FH)	MAN Nutzfahrzeuge AG
Schwitters, Frank, Dipl.-Ing.	Volkswagen AG
Seeck, Andre, Dipl.-Ing.	Bundesanstalt für Straßenwesen
Seiniger, Patrick, Dipl.-Ing.	Technische Universität Darmstadt
Spichalsky, Carsten, Dipl.-Ing.	Volkswagen AG
Stählin, Ulrich, Dr.-Ing.	Continental AG
Steinle, Joachim, Dr.-Ing.	BMW Group
Steinmeyer, Simon, Dipl.-Inf.	Volkswagen AG
Stiller, Christoph, Prof. Dr.-Ing.	Universität Karlsruhe (TH)
Thiel, Robert, Dipl.-Ing.	Continental AG
van Zanten, Anton, Dr.	vormals Robert Bosch GmbH
Völkel, Jürgen, Dipl.-Ing.	Continental AG
Walter, Michael, Dr.	vormals Continental AG
Winner, Hermann, Prof. Dr. rer. nat.	Technische Universität Darmstadt
Wojek, Christian, Dipl.-Inform.	Technische Universität Darmstadt
Wolf, Gabriele, Dipl.-Wirtsch.-Ing.	Technische Universität Darmstadt
Woyna, Lars, Dipl.-Ing.	Technische Universität Darmstadt
Wuttke, Ulrich, Dipl.-Ing.	Volkswagen AG

Firmen- und Hochschulverzeichnis

Firmen

Audi AG	Dr.-Ing. Thomas Bock
	Dr. Wolfgang Huhn
BMW Group	Dr. Jürgen Bielefeld
	Dr.-Ing. Edmund Donges (vormals)
	Dipl.-Ing. Matthias Hopstock
	Dr.-Ing. Felix Klanner
	Dr.-Ing. Philip Köhn
	Dr.-Ing. Günter Reichart (vormals)
	Dipl.-Ing. Thorsten Richter
	Dr.-Ing. Joachim Steinle
BMW Motorrad	Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Bachmann
	Dr.-Ing. Jörg Reissing
Bundesanstalt für Straßenwesen	Ass. jur. Tom Michael Gasser
	Dr. Christhard Gelau
	Dipl.-Ing. Andre Seeck
Continental AG	Dr.-Ing. Bernward Bayer
	Dr.-Ing. Eva Bender
	Dipl.-Ing. Axel Büse
	Dr.-Ing. Michael Darms
	Dipl.-Ing. Alfred Eckert
	Dipl.-Ing. Thomas Fechner
	Dipl.-Ing. Steffen Gruber
	Dipl.-Ing. Wladimir Hellmann
	Dr.-Ing. Jens Hoffmann
	Dipl.-Ing. Norbert Ocvirk
	Dipl.-Ing. Bernd Piller
	Dr. Thomas Raste
	Dipl.-Ing. James Remfrey
	Dr.-Ing. Peter E. Rieth
	Dipl.-Ing. Stefan Schmitt
	Dipl.-Ing. Bernhard Schmittner
	Dr.-Ing. Matthias Schorn
	Dr.-Ing. Ulrich Stählin
	Dipl.-Ing. Robert Thiel

Firmen- und Hochschulverzeichnis

Continental AG (Fortsetzung)	Dipl.-Ing. Jürgen Völkel Dr. Michael Walter (vormals)
Daimler AG	Dr.-Ing. Jörg Breuer Dipl.-Ing. Bernd Danner
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt	Dr.-Ing. Frank Flemisch Dipl.-Ing. Christian Löper
Honda R&D Europe (Deutschland) GmbH IF+F Ingenieurbüro für Fahrerassistenz und Fahrerinformation	Dr.-Ing. Jens E. Gayko Prof. Dr.-Ing. Peter Knoll
Knorr-Bremse	Dr. Falk Hecker
MAN Nutzfahrzeuge AG	Dipl.-Ing. Karlheinz Dörner Dipl.-Ing. Eberhard Hipp Dipl.-Ing. (FH) Walter Schwertberger
PMD Technologies GmbH	Dr. Bernd Buxbaum Dr.-Ing. Robert Lange Dr.-Ing. Thorsten Ringbeck
Omron Electronics GmbH	Georg Geduld (vormals)
Robert Bosch Car Multimedia GmbH	Dipl.-Ing. Ulrich Kersken Dr.-Ing. Thomas Kleine-Besten Dr.-Ing. Werner Pöchmüller Dipl.-Ing. (BA) Heiner Schepers
Robert Bosch GmbH	Dr.-Ing. Winfried König Dipl.-Ing. Friedrich Kost Dipl.-Ing. Matthias Mörbe Dr. Martin Noll Dipl.-Phys. Peter Rapps Dr. Anton van Zanten (vormals)
TRW Automotive	Dr.-Ing. Mark Mages
Volkswagen AG	Dr. rer. nat. Richard Auer Dr.-Ing. Arne Bartels Dr.-Ing. Stefan Brosig Dipl.-Ing. Reiner Katzwinkel Dr.-Ing. Michael Rohlf Dipl.-Ing. Volkmar Schöning Dipl.-Ing. Frank Schroven Dipl.-Ing. Frank Schwitters Dipl.-Ing. Carsten Spichalsky Dipl.-Inf. Simon Steinmeyer Dipl.-Ing. Ulrich Wuttke

ZF Lenksysteme GmbH

Dipl.-Ing. (FH) Peter Brenner
Dipl.-Ing. (TH) Hendrik Büring
Dipl.-Ing. (TH) Gerd Reimann

Hochschulen

Technische Universität Braunschweig

Technische Universität Darmstadt

Prof. Dr.-Ing. Markus Maurer
Dr.-Ing. Bettina Abendroth
Prof. Dr.-Ing. Ralph Bruder
Dr. Muriel Didier
Dipl.-Ing. Stephan Hakuli
Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Rolf Isermann
Prof. Dr.-Ing. Tran Quoc Khanh
Prof. Dr.-Ing. Kurt Landau (vormals)
Prof. Dr. Bernt Schiele
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Michael Schreiber
Dipl.-Ing. Patrick Seiniger
Prof. Dr. rer. nat. Hermann Winner
Dipl.-Inform. Christian Wojek
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Gabriele Wolf
Dipl.-Ing. Lars Woyna
Dr.-Ing. Herbert Rausch
MSc Alexander Bachmann
Dipl.-Ing. Christian Duchow
Dr.-Ing. Sören Kammel (vormals)
Prof. Dr.-Ing. Peter Knoll
Prof. Dr.-Ing. Christoph Stiller

Technische Universität München

Universität Karlsruhe (TH)

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
A Grundlagen der Fahrerassistenzsystementwicklung	3
1 Die Leistungsfähigkeit des Menschen für die Fahrzeugführung	4
1.1 Menschlicher Informationsverarbeitungsprozess	4
1.1.1 Informationsaufnahme	5
1.1.2 Informationsverarbeitung	6
1.1.3 Informationsabgabe	8
1.2 Fahrercharakteristik und die Grenzen menschlicher Leistungsfähigkeit	8
1.3 Anforderungen an den Fahrzeugführer im System Fahrer-Fahrzeug-Umgebung	10
1.4 Bewertung der Anforderungen aus der Fahrzeugführungsaufgabe im Hinblick auf die menschliche Leistungsfähigkeit	12
2 Fahrerverhaltensmodelle	15
2.1 Drei-Ebenen-Modell für zielgerichtete Tätigkeiten des Menschen nach Rasmussen, 1983	15
2.2 Drei-Ebenen-Hierarchie der Fahraufgabe nach Donges, 1982	16
2.3 Beispiel eines regelungstechnischen Modellansatzes für die Führungs- und Stabilisierungsebene der Fahraufgabe	17
2.4 Zeitkriterien	19
2.5 Neuer Ansatz zur Quantifizierung von fertigungs-, regel- und wissensbasiertem Verhalten im Straßenverkehr	20
2.6 Folgerungen für Fahrerassistenzsysteme	22
3 Fahrerassistenz und Verkehrssicherheit	24
3.1 Einleitung	24
3.2 Erwartete Auswirkungen von Fahrerassistenzsystemen auf die Verkehrssicherheit	24
3.3 Bewertung von Fahrerassistenzsystemen vor dem Hintergrund von Ratings und gesetzlichen Vorschriften	27
3.3.1 Typzulassungsbestimmungen	27
3.3.2 Anforderungen der Verbraucherorganisationen	27
3.3.3 Herstellerinterne Anforderungen	28
3.3.4 Beyond NCAP – Die zukünftige Euro NCAP-Bewertung	28
3.4 Rechtliche Grenzen autonom eingreifender Fahrerassistenzsysteme	29
4 Nutzergerechte Entwicklung der Mensch-Maschine-Interaktion von Fahrerassistenzsystemen	33
4.1 Übersicht	33
4.2 Fragestellungen bei der Entwicklung der Mensch-Maschine-Interaktion (HMI) von FAS	33
4.2.1 Unterstützung durch FAS	33
4.2.2 Leistungen und Grenzen der FAS	33
4.2.3 Benötigte Kompetenzen und Fachbereiche	34
4.2.4 Einflussfaktoren bei der Entwicklung von FAS	34
4.2.5 Interaktionskanäle zwischen Fahrer, FAS und Fahrzeug	34
4.2.6 Änderung der Beziehung Fahrer-Fahrzeug durch FAS	35
4.2.7 Situationsbewusstsein des Fahrers	36
4.2.8 Inneres Modell	36
4.2.9 Entlastung oder Belastung durch FIS und FAS?	37
4.2.10 Verantwortung des Fahrers	37
4.2.11 Stärken von Mensch und Maschine	37