

Konrad Reif

**Automobilelektronik**

## Aus dem Programm

### **Kraftfahrzeugtechnik**

#### **Handbuch Verbrennungsmotor**

herausgegeben von R. van Basshuysen und F. Schäfer

#### **Lexikon Motorentechnik**

herausgegeben von R. van Basshuysen und F. Schäfer

#### **Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik**

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

#### **Bremsenhandbuch**

herausgegeben von B. Breuer und K. H. Bill

#### **Mensch und Fahrzeug**

von E. Fiala

#### **Nutzfahrzeugtechnik**

herausgegeben von E. Hoepke und S. Breuer

#### **Aerodynamik des Automobils**

herausgegeben von W.-H. Hucho

#### **Verbrennungsmotoren**

von E. Köhler und R. Flierl

#### **Passive Sicherheit von Kraftfahrzeugen**

von F. Kramer

#### **Automotive Software Engineering**

von J. Schäuuffele und T. Zurawka

#### **Handbuch Kraftfahrzeugelektronik**

herausgegeben von H. Wallentowitz und K. Reif

#### **Bussysteme in der Fahrzeugtechnik**

von W. Zimmermann und R. Schmidgall

Die BOSCH-Fachbuchreihe

- **Ottomotor-Management**
- **Dieselmotor-Management**
- **Autoelektrik/Autoelektronik**
- **Sicherheits- und Komfortsysteme**
- **Fachwörterbuch Kraftfahrzeugtechnik**
- **Kraftfahrtechnisches Taschenbuch**

herausgegeben von ROBERT BOSCH GmbH

**vieweg**

Konrad Reif

# **Automobil- elektronik**

**Eine Einführung für Ingenieure**

2., überarbeitete und erweiterte Auflage

Mit 294 Abbildungen und 41 Tabellen

ATZ/MTZ-Fachbuch



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.

Liste der Mitarbeiter:

Dipl.-Ing. W. Bohne, BMW AG  
Dr. rer. nat. R. Rettig, Robert Bosch GmbH  
Dipl.-Ing. (FH) F. Gretzmeier  
Dr.-Ing. C. Luttermann, BMW AG  
Dr.-Ing. A. Kunz, MTU Friedrichshafen GmbH  
Dr.-Ing. W.-D. Gruhle, ZF Friedrichshafen AG  
Dr.-Ing. B. Krasser  
Dr.-Ing. J. Olk, Hella KGaA Hueck & Co.  
Dr.-Ing. M. Schöllmann, Hella KGaA Hueck & Co.  
Dr.-Ing. M. Rosenmayr, Hella KGaA Hueck & Co.  
MEng. Dipl.-Ing. (FH) L. Weichenberger, Autoliv B.V. & Co. KG  
Dipl.-Ing. T. Weber, Brose Fahrzeugteile GmbH & Co.  
Dipl.-Ing. G. Geduld  
Dr.-Ing. C. Amsel, Hella KGaA Hueck & Co.  
Dr.-Ing. W. Kesseler, Hella KGaA Hueck & Co.  
Dr. rer. nat. M. Kleinkes, Hella KGaA Hueck & Co.  
Dr.-Ing. K. Schmidt, Audi AG  
Dipl.-Inf. P. Milbredt, Audi AG  
Dr.-Ing. Matthias Rebhan, Siemens AG  
Dipl.-Ing. (BA) J. Pollmer, Audi AG  
Dipl.-Ing. (BA) M. Wilsdorf, Audi AG

Umschlaggestaltung unter Verwendung eines Fotos der Audi AG

1. Auflage April 2006  
2., überarbeitete und erweiterte Auflage April 2007

Alle Rechte vorbehalten

© Friedr. Vieweg & Sohn Verlag | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2007

Lektorat: Reinhard Dapper / Imke Zander

Der Vieweg Verlag ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media.  
[www.vieweg.de](http://www.vieweg.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.

Umschlaggestaltung: Ulrike Weigel, [www.CorporateDesignGroup.de](http://www.CorporateDesignGroup.de)  
Satz und Technische Redaktion: FROMM MediaDesign GmbH, Selters/Ts.  
Druck und buchbinderische Verarbeitung: MercedesDruck, Berlin  
Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.  
Printed in Germany

ISBN 978-3-8348-0297-2

## Vorwort

Für die Automobilelektronik gibt es bisher keine einheitliche Lehrmeinung. Um dieses Gebiet dem Leser nahe zu bringen, wurde von zwei Überlegungen ausgegangen: Zum einen trifft der Automobilhersteller die letztliche Entscheidung, woraus sich ein Auto, und damit auch woraus sich Automobilelektronik zusammensetzt. Dies wirkt sich besonders in dem schnell fortschreitenden Gebiet der Automobilelektronik auf die Lehre aus, die sich mit verändern muss. Das Konzept des Buches entstand daher in enger Abstimmung mit den Autofirmen Audi AG und BMW AG. Zum anderen sitzt das Wissen über die einzelnen Teilgebiete bei den Automobil- und auch bei den Zulieferfirmen in den jeweiligen Fachabteilungen. Um diesen Wissensstand in dem Buch abzubilden, sind 21 Experten als Verfasser der einzelnen Abschnitte beteiligt.

*Automobilelektronik* wendet sich an Studenten der Ingenieurwissenschaften, in der Praxis stehende Ingenieure, Ausbilder in der innerbetrieblichen Aus- und Weiterbildung und an Lehrer in den beruflichen Schulen. Das Buch spricht gleichzeitig den Leserkreis mit rein elektrotechnischem und mit rein fahrzeugtechnischem Vorwissen an. Es gibt einen ersten Überblick über die elektronische, elektrische und regelungstechnische Welt der Automobiltechnik. Dabei wird sowohl auf fahrzeugübergreifende Themen wie Sensorik, Vernetzung und Software als auch auf wichtige elektronische Systeme wie Antrieb, Sicherheit, Komfort, Energieversorgung, Beleuchtung und Fahrerassistenz eingegangen.

In der hier vorliegenden zweiten Auflage wurde neben kleineren Verbesserungen und Korrekturen ein neuer Abschnitt über Echtzeitbetriebssysteme einschließlich AUTOSAR mit aufgenommen. Überarbeitet und ergänzt wurden außerdem die Abschnitte über FlexRay-Vernetzung, aktive und passive Sicherheit.

Inhaltlich und didaktisch orientiert sich das Buch an Vorlesungen der Studienrichtung „Fahrzeugelektronik und Mechatronische Systeme“ für Studenten der Elektrotechnik, wie sie z. B. an der Berufsakademie Ravensburg, Außenstelle Friedrichshafen in Zusammenarbeit mit Automobil- und Zulieferfirmen seit sechs Jahren angeboten wird und regen Zulauf findet. Viele Erfahrungen bei der Vermittlung des Stoffes sind dabei in das Buch mit eingeflossen. Im Vordergrund steht nicht die vollständige Abdeckung des Fachgebietes, sondern die systematische Darstellung grundlegender Prinzipien.

Das Buch muss für den Leser in einer vertretbaren Zeit lesbar sein, es darf also nicht zu viel Material beinhalten. Deshalb wurde der Inhalt auf Gebiete beschränkt, die besonders stark automobilspezifisch geprägt sind, und die sowohl für Leser mit rein elektrotechnischer als auch rein fahrzeugtechnischer Vorbildung verständlich sind. So mussten Gebiete wie z. B. Hardware-Entwicklung oder EMV ausgespart werden. Nicht behandelt werden außerdem Multimedia und Telematik, die zwar viel Elektronik beinhalten, aber zum größten Teil „aus der normalen Elektronik- und Computerwelt entliehen“ sind. Auch wird hier nur der derzeitige Stand der Technik behandelt. Themen, die sich noch nicht in der vollen Breite durchgesetzt haben, sind der weiterführenden Literatur vorbehalten.

Die Automobilelektronik lässt sich aus zwei grundlegend verschiedenen Blickwinkeln erklären, nämlich aus dem funktionsorientierten und dem komponentenorientierten. Die funktionsorientierte Sichtweise ermöglicht ein vertieftes Verständnis des gesamten Fahrzeugs einschließlich der komponentenübergreifenden Funktionen. Dagegen erlaubt die komponentenorientierte Sichtweise sehr gut eine herstellerunabhängige Behandlung und die Berücksichti-

gung von Serviceaspekten. Daher wurden hier beide Sichtweisen gewählt, z. B. bei der Ottomotor-Steuerung die funktionsorientierte und bei der Dieselmotor-Steuerung die komponentenorientierte.

Ohne die außerordentliche Unterstützung Vieler hätte das Buch nicht entstehen können: Besonderer Dank gilt daher den Verfassern der einzelnen Beiträge (siehe Autorenverzeichnis auf der Impressumseite), die ihr wertvolles Fachwissen zur Verfügung gestellt haben. Für zahlreiche fachliche Diskussionen zur Konzeption danke ich Herrn Dr. M. Rudolph, Herrn Dipl.-Ing. H.-E. Pasch und Herrn Dipl.-Ing. (BA) T. Gollewski von der Audi AG sowie Herrn Dr.-Ing. G. Reichart und Herrn Dr.-Ing. M. Enders von der BMW AG. Außerdem möchte ich mich bei den Firmen Audi AG, BMW AG, Honda Motor Europe GmbH, Continental Teves AG & Co. oHG, Hella KGaA Hueck & Co., IEE S. A., Robert Bosch GmbH, Siemens AG und ZF Friedrichshafen AG bedanken, die umfangreiches Bildmaterial zur Verfügung gestellt haben. Für fachliche Diskussionen und Unterstützung, besonders während der Endphase der Bucherstellung, danke ich Herrn Prof. Dr. W. Bergholz, Herrn Prof. E. Fahr, Herrn Prof. Dr.-Ing. M. Freitag, Herrn Dr. rer. nat. J. Fritsch, Herrn Dipl.-Ing. F. Gretzmeier, Herrn Dr.-Ing. M. Hehle, Frau Dr.-Ing. S. Heinze, Herrn Dipl.-Ing. H. Ilg, Herrn Prof. Dr. T. Nickel, Herrn Prof. Dr.-Ing. V. Pohl, Herrn Prof. Dr.-Ing. P. Roßmanek, Herrn Prof. Dr.-Ing. T. Spägele und Herrn MEng. L. Weichenberger. Außerordentlich wertvolle Anregungen und Korrekturen haben Herr Dr.-Ing. R. Hagel, Herr Prof. Dr.-Ing. K.-L. Haken, Herr Dr.-Ing. H. Roßmanith und Herr Dr.-Ing. K. Weinzierl eingebracht. Ferner danke ich dem Vieweg-Verlag für die hervorragende Zusammenarbeit und professionelle Realisierung dieses Buchprojektes. Besonderen Dank möchte ich meinem Doktorvater Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. R. Unbehauen aussprechen. Meine Zeit als sein wissenschaftlicher Assistent, insbesondere die Mitarbeit an seinen Büchern, war für mich eine sehr wertvolle Erfahrung.

Herzlicher Dank gilt meiner Ehefrau Dipl.-Inf. Evelyn Reif und meinen Kindern Gerold, Karla, Richard und Ludwig, die sehr viel Geduld und Verständnis gezeigt haben.

Friedrichshafen, im April 2007

*Konrad Reif*

# Inhalt

|   |    |
|---|----|
| <b>Vorwort</b> .....  | V  |
| <b>1 Bussysteme</b> .....   | 1  |
| 1.1 Grundlagen digitaler Bussysteme .....                         | 2  |
| 1.1.1 Grundbegriffe .....   | 2  |
| 1.1.2 Das ISO/OSI-Referenzmodell .....                            | 3  |
| 1.1.3 Kommunikationsprinzipien .....                              | 6  |
| 1.1.4 Protokollprinzipien .....                                   | 6  |
| 1.1.5 Topologien .....  | 7  |
| 1.1.6 Systembausteine zur Kopplung von Bussystemen .....          | 7  |
| 1.1.7 Buszugriffsverfahren .....                                  | 8  |
| 1.1.8 Prinzipien der Datensicherung und der Fehlerkontrolle ..... | 10 |
| 1.2 Bussysteme im Fahrzeug .....                                  | 13 |
| 1.2.1 Anforderungen an Bussysteme im Fahrzeug .....               | 13 |
| 1.2.2 CAN und TTCAN .....   | 14 |
| 1.2.3 LIN .....   | 20 |
| 1.2.4 FlexRay .....   | 23 |
| 1.2.5 MOST .....  | 32 |
| 1.2.6 Kommunikationsarchitekturen im Fahrzeug .....               | 34 |
| <b>2 Echtzeitbetriebssysteme</b> .....                            | 35 |
| 2.1 Allgemeines zu Echtzeitbetriebssystemen .....                 | 35 |
| 2.1.1 Grundlegende Begriffe .....                                 | 35 |
| 2.1.2 Echtzeitbegriffe .....                                      | 36 |
| 2.1.3 Prozess und Prozesszustände .....                           | 38 |
| 2.1.4 Kontextwechsel .....  | 39 |
| 2.1.5 Scheduling .....  | 39 |
| 2.1.6 Vertreter von Echtzeitbetriebssystemen .....                | 41 |
| 2.2 OSEK/VDX .....  | 41 |
| 2.2.1 Historie .....  | 41 |
| 2.2.2 Grundlegende Eigenschaften von OSEK-Betriebssystemen .....  | 42 |
| 2.2.3 Betriebsmittel .....  | 43 |
| 2.2.4 Skalierbarkeit .....  | 46 |
| 2.2.5 Prioritätssteuerung .....                                   | 47 |
| 2.2.6 Konfiguration .....   | 47 |
| 2.2.7 Hochlauf .....  | 49 |
| 2.2.8 Kommunikation .....   | 50 |
| 2.2.9 Netzwerk-Management .....                                   | 50 |
| 2.2.10 OSEK/VDX-Erweiterungen .....                               | 50 |
| 2.3 AUTOSAR .....   | 51 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>3 Funktions- und Software-Entwicklung</b> .....                | 55  |
| 3.1 Charakteristika eingebetteter Systeme im Fahrzeug .....       | 56  |
| 3.1.1 Grundbegriffe der Systemtheorie .....                       | 56  |
| 3.1.2 Strukturierung, Modellierung und Beschreibung .....         | 56  |
| 3.1.3 Steuergeräte und Mikrocontroller .....                      | 59  |
| 3.1.4 Zuverlässigkeit, Sicherheit und Überwachung .....           | 61  |
| 3.2 Vorgehensmodelle, Normen und Standards .....                  | 61  |
| 3.2.1 Normen und Vorgehensmodelle .....                           | 62  |
| 3.2.2 Übergreifende technische Standards .....                    | 65  |
| 3.3 Funktions- und Software-Entwicklung nach dem V-Modell .....   | 66  |
| 3.3.1 Konkretisierung des V-Modells .....                         | 67  |
| 3.3.2 Anforderungsmanagementprozesse .....                        | 68  |
| 3.3.3 Architekturfestlegung .....                                 | 70  |
| 3.3.4 Komponentenfestlegung .....                                 | 73  |
| 3.3.5 Integration .....   | 75  |
| 3.3.6 Applikation .....   | 76  |
| 3.3.7 Abnahme .....   | 77  |
| 3.4 Methoden in der Funktions- und Software-Entwicklung .....     | 78  |
| 3.4.1 Anforderungsmanagement .....                                | 78  |
| 3.4.2 Testmethoden .....  | 83  |
| <br>  |     |
| <b>4 Sensorik</b> .....   | 89  |
| 4.1 Sensoren und ihre Eigenschaften .....                         | 89  |
| 4.1.1 Grundbegriffe .....   | 89  |
| 4.1.2 Intensive und extensive Messgrößen .....                    | 90  |
| 4.1.3 Statische und dynamische Eigenschaften von Sensoren .....   | 90  |
| 4.2 Anforderungen an Sensoren .....                               | 93  |
| 4.3 Partitionierung von Sensoren .....                            | 94  |
| 4.4 Sensorschnittstellen .....                                    | 95  |
| 4.4.1 Spannungsschnittstelle für induktive Sensoren .....         | 95  |
| 4.4.2 Analoge, ratiometrische Schnittstelle .....                 | 95  |
| 4.4.3 Zweidrahtschnittstelle .....                                | 97  |
| 4.4.4 Dreidrahtschnittstelle .....                                | 98  |
| 4.4.5 Sensoranbindung über Bussysteme .....                       | 99  |
| 4.5 Potenziometrische Winkelsensoren .....                        | 100 |
| 4.6 Magnetische Sensoren zur Drehzahl- und Winkelbestimmung ..... | 101 |
| 4.6.1 Grundlagen des Magnetismus .....                            | 101 |
| 4.6.2 Partitionierung magnetischer Sensoren .....                 | 106 |
| 4.6.3 Induktive Drehzahlsensoren .....                            | 107 |
| 4.6.4 Differenzielle Hall-Sensoren zur Drehzahlmessung .....      | 108 |
| 4.6.5 AMR-Sensoren als Drehzahlsensoren .....                     | 110 |
| 4.6.6 Hall-Sensoren als inkrementelle Positionssensoren .....     | 111 |
| 4.6.7 Hall-Sensoren als lineare Winkelsensoren .....              | 112 |
| 4.6.8 AMR-Sensoren als Winkelsensoren .....                       | 113 |
| 4.7 Drucksensoren .....   | 115 |
| 4.8 Beschleunigungssensoren .....                                 | 116 |



---

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 4.9      | Drehratensensoren .....                                  | 119        |
| 4.9.1    | Messprinzip von Drehratensensoren .....                  | 119        |
| 4.9.2    | Aufbau und Funktionsweise von Drehratensensoren .....    | 120        |
| <b>5</b> | <b>Ottomotor-Steuerung .....</b>                         | <b>123</b> |
| 5.1      | Arbeitsweise von Ottomotoren .....                       | 123        |
| 5.2      | Aufbau von Motorsteuerungssystemen .....                 | 124        |
| 5.2.1    | Anforderungen an Motorsteuergeräte .....                 | 124        |
| 5.2.2    | Aufbau der Steuergeräteelektronik .....                  | 124        |
| 5.3      | Aufgaben von Motorsteuerungssystemen .....               | 126        |
| 5.4      | Funktionsstruktur von Ottomotorsteuerungen .....         | 127        |
| 5.4.1    | Drehmomentenbasierte Grundstruktur .....                 | 127        |
| 5.4.2    | Gemischbildungsfunktionen .....                          | 133        |
| 5.4.3    | Zündungsfunktionen .....                                 | 136        |
| 5.4.4    | Verbrennungsfunktionen .....                             | 137        |
| 5.4.5    | Abgasfunktionen .....                                    | 139        |
| 5.4.6    | Diagnosefunktionen .....                                 | 141        |
| 5.5      | Entwicklungsprozess .....                                | 145        |
| <b>6</b> | <b>Dieselmotor-Steuerung .....</b>                       | <b>147</b> |
| 6.1      | Einleitung .....   | 147        |
| 6.2      | Grundlagen .....   | 147        |
| 6.2.1    | Gemischbildung und Selbstzündung .....                   | 147        |
| 6.2.2    | Kraftstoffeinspritzmenge .....                           | 148        |
| 6.2.3    | Einspritzzeitpunkt .....                                 | 149        |
| 6.2.4    | Abgasgesetzgebung .....                                  | 150        |
| 6.3      | Einspritzsysteme .....                                   | 151        |
| 6.3.1    | Pumpe-Düse-System .....                                  | 152        |
| 6.3.2    | Common-Rail-System .....                                 | 157        |
| 6.4      | Motoraufladung .....                                     | 164        |
| 6.4.1    | Einführung .....   | 164        |
| 6.4.2    | Gemeinsamkeiten der Turbolader-Systeme .....             | 165        |
| 6.4.3    | Laderarten .....   | 165        |
| 6.5      | Motorlaufkultur und motorbeeinflusster Fahrkomfort ..... | 167        |
| 6.5.1    | Thermische Starthilfe .....                              | 167        |
| 6.5.2    | Motorlaufkultur .....                                    | 168        |
| 6.5.3    | Motorbeeinflusster Fahrkomfort .....                     | 169        |
| 6.6      | Schadstoffreduzierung .....                              | 169        |
| 6.6.1    | Innermotorische Schadstoffreduzierung .....              | 169        |
| 6.6.2    | Abgasnachbehandlung .....                                | 171        |
| 6.7      | Diagnose .....   | 173        |
| 6.7.1    | Gesetzliche On-Board-Diagnose .....                      | 173        |
| 6.7.2    | On-Board-Diagnose in der Werkstatt .....                 | 176        |
| 6.7.3    | Off-Board-Diagnose in der Werkstatt .....                | 178        |

---

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| <b>7</b> | <b>Getriebesteuerung</b>                                   | 185 |
| 7.1      | Schaltpunktsteuerung                                       | 185 |
| 7.2      | Geregelte Lastschaltung                                    | 187 |
| 7.2.1    | Systemerklärung  | 187 |
| 7.2.2    | Adaptive Drucksteuerung mit Kriterium „Schleifzeit“        | 190 |
| 7.2.3    | Adaptive Drucksteuerung mit Kriterium „Reglereingriff“     | 192 |
| 7.3      | Geregelte Wandlerkupplung                                  | 194 |
| 7.3.1    | Systemerklärung  | 194 |
| 7.3.2    | Regelung   | 195 |
| 7.3.3    | Generierung und Anpassung des Sollwertes                   | 196 |
| 7.3.4    | Adaption   | 198 |
| <b>8</b> | <b>Elektrische Energieversorgung</b>                       | 203 |
| 8.1      | Topologie der Ein- und Mehrspannungsbordnetze              | 203 |
| 8.1.1    | 12-V-Einspannungsbordnetz mit einer Batterie               | 203 |
| 8.1.2    | Einspannungsbordnetz mit zwei Batterien                    | 204 |
| 8.1.3    | 42-V-Einspannungsbordnetz                                  | 205 |
| 8.1.4    | Mehrspannungsbordnetz im Schutz-Kleinspannungsbereich      | 205 |
| 8.1.5    | Mehrspannungsbordnetz im Klein- und Niederspannungsbereich | 207 |
| 8.2      | Batterien und ergänzende Energiespeicher                   | 207 |
| 8.2.1    | Einführung   | 207 |
| 8.2.2    | Batterien als Energiespeicher                              | 207 |
| 8.2.3    | Kondensatoren als ergänzende Energiespeicher               | 210 |
| 8.3      | Fahrzeuggeneratoren  | 211 |
| 8.3.1    | Einleitung   | 211 |
| 8.3.2    | Klauenpolgenerator   | 212 |
| 8.3.3    | Startergenerator   | 219 |
| 8.4      | Elektrisches Energiemanagement                             | 225 |
| 8.4.1    | Fahrzustände und Leistungsbilanz                           | 225 |
| 8.4.2    | Regelung der Energieversorgung                             | 227 |
| 8.4.3    | Batteriesensorik   | 229 |
| 8.4.4    | Batteriezustandserkennung                                  | 230 |
| 8.4.5    | Bordnetzkomponenten des Energiemanagements                 | 232 |
| 8.4.6    | Last- und Generatormanagement                              | 233 |
| <b>9</b> | <b>Sicherheitssysteme</b>                                  | 237 |
| 9.1      | Anforderungen  | 237 |
| 9.1.1    | Allgemeine Anforderungen und Methoden                      | 237 |
| 9.1.2    | Umwelteinflüsse  | 239 |
| 9.1.3    | Sicherheitssystemspezifische Methoden                      | 242 |
| 9.1.4    | Schutzmechanismus integrierter Sicherheitssysteme          | 248 |
| 9.2      | Grundlagen der aktiven und passiven Sicherheit             | 249 |
| 9.2.1    | Grundlagen der Fahrdynamik für die aktive Sicherheit       | 250 |
| 9.2.2    | Grundlagen der Crashdynamik für die passive Sicherheit     | 254 |

---

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 9.3       | Aktive Sicherheit .....   | 256        |
| 9.3.1     | Anti-Blockier-System .....  | 256        |
| 9.3.2     | Antriebs-Schlupf-Regelung und Motor-Schleppmoment-Regelung .....  | 257        |
| 9.3.3     | Bremsassistent .....  | 258        |
| 9.3.4     | Fahrdynamik-Regelung .....  | 259        |
| 9.4       | Passive Sicherheit .....  | 262        |
| 9.4.1     | Sicherheitselektronik und Rückhaltesysteme .....                  | 262        |
| 9.4.2     | Sicherheitskonzept und Algorithmus .....                          | 267        |
| 9.4.3     | Sitzbelegungserkennung und Insassenklassifizierung .....          | 269        |
| 9.4.4     | Überrollschutz .....  | 272        |
| 9.4.5     | Fußgängerschutz .....   | 274        |
| <b>10</b> | <b>Komfortelektronik .....</b>                                    | <b>277</b> |
| 10.1      | Überblick .....   | 277        |
| 10.2      | Allgemeine Anforderungen .....                                    | 277        |
| 10.2.1    | Elektrische Anforderungen .....                                   | 277        |
| 10.2.2    | Mechanische Anforderungen .....                                   | 278        |
| 10.2.3    | Umweltanforderungen .....   | 279        |
| 10.3      | Anforderungen an die Software .....                               | 279        |
| 10.4      | Vernetzung der Steuergeräte .....                                 | 280        |
| 10.5      | Fensterheberelektronik .....                                      | 281        |
| 10.6      | Türsteuergeräte .....   | 283        |
| 10.7      | Sitzsteuergeräte .....  | 285        |
| 10.8      | Klimasteuergeräte .....   | 287        |
| <b>11</b> | <b>Fahrerassistenzsysteme .....</b>                               | <b>289</b> |
| 11.1      | Historische Entwicklung .....                                     | 289        |
| 11.2      | Abstandssensorik .....  | 290        |
| 11.3      | Adaptive Cruise Control .....                                     | 293        |
| 11.4      | Precrash-Systeme .....  | 293        |
| 11.5      | Bildverarbeitung in Fahrerassistenzsystemen .....                 | 295        |
| 11.5.1    | Grundlagen .....  | 295        |
| 11.5.2    | Bildaufnehmer .....   | 296        |
| 11.5.3    | Bildinterpretation und Auswertung .....                           | 297        |
| 11.5.4    | Anwendungen .....   | 299        |
| 11.6      | Ausblick .....  | 299        |
| <b>12</b> | <b>Lichttechnik .....</b>   | <b>301</b> |
| 12.1      | Formeln und Einheiten der Lichttechnik .....                      | 301        |
| 12.1.1    | Von der strahlungsphysikalischen zur lichttechnischen Größe ..... | 301        |
| 12.1.2    | Spektrale Empfindlichkeit des Auges .....                         | 302        |
| 12.1.3    | Lichtstrom .....  | 304        |
| 12.1.4    | Raumwinkel .....  | 305        |
| 12.1.5    | Lichtstärke .....   | 306        |
| 12.1.6    | Beleuchtungsstärke .....  | 307        |
| 12.1.7    | Leuchtdichte .....  | 308        |

|   |   |            |
|---|---|------------|
| 12.2  | Lichttechnische Stoffkennzahlen .....                           | 309        |
| 12.3  | Photometrie .....   | 310        |
| 12.3.1  | Photometrisches Grundgesetz .....                               | 310        |
| 12.3.2  | Photometrisches Entfernungsgesetz .....                         | 311        |
| 12.4  | Farbmetrik .....  | 312        |
| 12.4.1  | Begriffsbildung .....   | 312        |
| 12.4.2  | Von der strahlungsphysikalischen zur farbmetrischen Größe ..... | 312        |
| 12.4.3  | Grundspektralwertkurven .....                                   | 313        |
| 12.4.4  | Die Farbtafel .....   | 314        |
| 12.4.5  | Farbtemperatur .....  | 315        |
| 12.5  | Farbe im Verkehrsraum .....                                     | 317        |
| 12.6  | Lichttechnische Einrichtungen am Fahrzeug .....                 | 317        |
| 12.7  | Lichtquellen und deren elektrische Eigenschaften .....          | 320        |
| 12.7.1  | Temperaturstrahler .....  | 320        |
| 12.7.2  | Halogen-Lampen .....  | 320        |
| 12.7.3  | Gasentladungslampen .....                                       | 321        |
| 12.7.4  | Leuchtdioden .....  | 323        |
| 12.8  | Frontbeleuchtungssysteme .....                                  | 324        |
| 12.8.1  | Leuchtweitenregulierung .....                                   | 325        |
| 12.8.2  | Kurvenlicht .....   | 326        |
| 12.8.3  | Variable Lichtverteilungen .....                                | 327        |
| 12.8.4  | Absicherung und Ansteuerung .....                               | 329        |
| <b>Anhang: Dokumentation in der Automobilelektrik und -elektronik .....</b> |   | <b>335</b> |
| A.1   | Normung .....   | 335        |
| A.2   | Kennzeichnungen .....   | 336        |
| A.2.1   | Kennbuchstaben .....  | 336        |
| A.2.2   | Klemmenbezeichnungen .....                                      | 338        |
| A.2.3   | Leitungskennzeichnung .....                                     | 339        |
| A.2.4   | Grafische Symbole für Schaltpläne .....                         | 339        |
| A.3   | Darstellungs- und Schaltplanarten .....                         | 339        |
| A.3.1   | Anordnungsplan .....  | 339        |
| A.3.2   | Übersichtsschaltplan .....                                      | 341        |
| A.3.3   | Blockschaltplan .....   | 341        |
| A.3.4   | Feldeinteilung als Orientierungshilfe .....                     | 342        |
| A.3.5   | Zusammenhängende und aufgelöste Darstellung .....               | 342        |
| A.3.6   | Neue Darstellungsformen im Wandel der Technik .....             | 343        |
| <b>Literaturverzeichnis .....</b>   |   | <b>347</b> |
| <b>Sachwortverzeichnis .....</b>  |   | <b>355</b> |