

Hermann Winner  
Stephan Hakuli  
Felix Lötz  
Christina Singer  
(Hrsg.)

# Handbuch Fahrer- assistenzsysteme

Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive  
Sicherheit und Komfort

**3., überarbeitete und ergänzte Auflage**

# Inhaltsverzeichnis

Firmen- und Hochschulverzeichnis

XL

Autorenverzeichnis

XLIV

## I Grundlagen der Fahrerassistenzsystementwicklung

|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| <b>1</b>     | <b>Die Leistungsfähigkeit des Menschen für die Fahrzeugführung</b>  | <b>3</b>  |
|              | <i>Bettina Abendroth, Ralph Bruder</i>  |           |
| <b>1.1</b>   | <b>Menschlicher Informationsverarbeitungsprozess</b>  | <b>4</b>  |
| 1.1.1        | Informationsaufnahme  | 5         |
| 1.1.2        | Informationsverarbeitung  | 7         |
| 1.1.3        | Informationsabgabe  | 8         |
| <b>1.2</b>   | <b>Fahrercharakteristik und die Grenzen menschlicher Leistungsfähigkeit</b>   | <b>8</b>  |
| <b>1.3</b>   | <b>Anforderungen an den Fahrzeugführer im System Fahrer-Fahrzeug-Umgebung</b>   | <b>11</b> |
| <b>1.4</b>   | <b>Bewertung der Anforderungen aus der Fahrzeugführungsaufgabe im Hinblick auf die menschliche Leistungsfähigkeit</b> | <b>13</b> |
|              | Literatur   | 14        |
| <b>2</b>     | <b>Fahrerverhaltensmodelle</b>  | <b>17</b> |
|              | <i>Edmund Dönges</i>  |           |
| <b>2.1</b>   | <b>Drei-Ebenen-Modell für zielgerichtete Tätigkeiten des Menschen nach Rasmussen, 1983</b>                            | <b>18</b> |
| <b>2.2</b>   | <b>Drei-Ebenen-Hierarchie der Fahraufgabe nach Dönges, 1982</b>   | <b>19</b> |
| <b>2.3</b>   | <b>Beispiel eines regelungstechnischen Modellansatzes für die Führungs- und Stabilisierungsebene der Fahraufgabe</b>  | <b>20</b> |
| <b>2.4</b>   | <b>Zeitkriterien</b>  | <b>22</b> |
| <b>2.5</b>   | <b>Neuer Ansatz zur Quantifizierung von fertigungs-, regel- und wissensbasiertem Verhalten im Straßenverkehr</b>      | <b>23</b> |
| <b>2.6</b>   | <b>Folgerungen für Fahrerassistenzsysteme</b>   | <b>25</b> |
|              | Literatur   | 25        |
| <b>3</b>     | <b>Rahmenbedingungen für die Fahrerassistenzentwicklung</b>   | <b>27</b> |
|              | <i>Tom Michael Gasser, Andre Seeck, Bryant Walker Smith</i>   |           |
| <b>3.1</b>   | <b>Kategorisierung und Nomenklatur der Systeme</b>  | <b>28</b> |
| <b>3.2</b>   | <b>Rechtliche Rahmenbedingungen und Bewertung</b>   | <b>31</b> |
| 3.2.1        | Informierende Systeme (Kategorie A)   | 32        |
| 3.2.2        | Kontinuierlich wirkende automatisierende Systeme (Kategorie B)  | 34        |
| 3.2.3        | Eingreifende Notfallsysteme (Kategorie C)   | 41        |
| <b>3.3</b>   | <b>Gesetzgebung in den USA</b>  | <b>43</b> |
| <b>3.4</b>   | <b>Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme vor dem Hintergrund von „Ratings“ und gesetzlichen Vorschriften</b>        | <b>47</b> |
| 3.4.1        | Typgenehmigungsbestimmungen   | 47        |
| <b>3.4.2</b> | <b>Anforderungen durch Euro NCAP</b>  | <b>48</b> |

|          |  |    |
|----------|--|----|
| 3.4.3    | Herstellerinterne Anforderungen  | 49 |
| 3.4.4    | Beyond NCAP – Berücksichtigung von neuen Sicherheitsfunktionen im Verbraucherschutz..              | 49 |
| 3.5      | <b>Fazit</b>   | 51 |
| 3.5.1    | Forschungsbedarf zur Mensch-Maschine-Interaktion   | 52 |
| 3.5.2    | Forschungsbedarf zu Absicherungsstrategien   | 52 |
| 3.5.3    | Forschungsbedarf bei der Identifizierung notwendiger Maßnahmen in der Straßenverkehrsinfrastruktur | 52 |
| 3.5.4    | Forschungsbedarf zur gesellschaftlichen Akzeptanz automatisierter Systeme im Straßenverkehr        | 52 |
|          | Literatur  | 53 |
| <b>4</b> | <b>Verkehrssicherheit und Potenziale von Fahrerassistenzsystemen</b>                               | 55 |
|          | <i>Matthias Kühn, Lars Hannawald</i>   |    |
| 4.1      | <b>Unfallstatistik</b>   | 56 |
| 4.1.1    | Unfallgeschehen in Deutschland   | 56 |
| 4.1.2    | Weltweites Unfallgeschehen   | 60 |
| 4.1.3    | Unfallgeschehen nach Fahrzeugart   | 60 |
| 4.2      | <b>Sicherheitspotenzial von Fahrerassistenzsystemen</b>  | 65 |
| 4.2.1    | Methoden zur Bewertung des Sicherheitspotenzials von FAS   | 67 |
| 4.2.2    | Pkw  | 68 |
| 4.2.3    | Lkw  | 68 |
| 4.2.4    | Busse  | 69 |
| 4.2.5    | Ausblick   | 70 |
|          | Literatur  | 70 |
| <b>5</b> | <b>Verhaltenswissenschaftliche Aspekte von Fahrerassistenzsystemen</b>                             | 71 |
|          | <i>Bernhard Schlag, Gert Weller</i>  |    |
| 5.1      | <b>Visuelle und kognitive Beanspruchung</b>  | 72 |
| 5.2      | <b>Situationsbewusstsein</b>   | 74 |
| 5.3      | <b>Mentale Modelle</b>   | 76 |
| 5.4      | <b>Verhaltensadaptation</b>  | 77 |
| 5.5      | <b>Übernahmeproblematik</b>  | 80 |
|          | Literatur  | 81 |
| <b>6</b> | <b>Funktionale Sicherheit und ISO 26262</b>  | 85 |
|          | <i>Ulf Wilhelm, Susanne Ebel, Alexander Weitzel</i>  |    |
| 6.1      | <b>Aufgaben der funktionalen Sicherheit</b>  | 86 |
| 6.1.1    | Überblick  | 86 |
| 6.1.2    | Ziele und Aufbau der ISO 26262   | 86 |
| 6.1.3    | Abgrenzung zu anderen Normen und Richtlinien   | 87 |
| 6.1.4    | Abgrenzung zur Behandlung von anderen Fehlerquellen  | 88 |
| 6.2      | <b>Sicherheitsanforderungen an Fahrerassistenzsysteme</b>  | 89 |
| 6.2.1    | Spezifikation von Sicherheitszielen  | 92 |
| 6.2.2    | Spezifikation von Sicherheitsanforderungen   | 94 |
| 6.3      | <b>Erfüllung der Sicherheitsanforderungen</b>  | 94 |
| 6.3.1    | Rückverfolgbarkeit der Anforderungsebenen („Traceability“)   | 97 |
| 6.3.2    | Verifikation   | 98 |
| 6.3.3    | Validierung  | 98 |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| <b>6.4</b> | <b>Grenzen der ISO 26262</b>   | <b>99</b>  |
| 6.4.1      | Lücken in der Rückverfolgbarkeit   | 100        |
| 6.4.2      | Umgang mit Unwissen im Designprozess   | 100        |
| 6.4.3      | Validierung von Systemen mit funktionaler Unzulänglichkeit   | 101        |
| <b>6.5</b> | <b>Zusammenfassung und Ausblick</b>  | <b>102</b> |
|            | Literatur  | 102        |
| <br>       |  |            |
| <b>7</b>   | <b>AUTOSAR</b>   | <b>105</b> |
|            | <i>Simon Fürst, Stefan Bunzel</i>  |            |
| 7.1        | <b>Motivation für AUTOSAR</b>  | <b>106</b> |
| 7.2        | <b>Organisation der Partnerschaft AUTOSAR</b>  | <b>106</b> |
| 7.3        | <b>Die neun Projektziele von AUTOSAR</b>   | <b>107</b> |
| 7.4        | <b>Die drei Bereiche der Standardisierung</b>  | <b>109</b> |
| 7.4.1      | Softwarearchitektur  | 109        |
| 7.4.2      | Entwurfsmethodik   | 110        |
| 7.4.3      | Anwendungsschnittstellen   | <b>111</b> |
| 7.5        | <b>Systemarchitektur – der virtuelle Funktionsbus (VFB)</b>  | <b>112</b> |
| 7.6        | <b>Softwarearchitektur</b>   | <b>112</b> |
| 7.6.1      | Anwendungssoftware   | 112        |
| 7.6.2      | Laufzeitumgebung (RTE)   | 114        |
| 7.6.3      | Basissoftware (BSW)  | 114        |
| 7.6.4      | Systemkonfiguration  | 115        |
| 7.7        | <b>Auswirkungen und Besonderheiten bei der FAS-Entwicklung</b>   | <b>116</b> |
| 7.7.1      | Entwicklung verteilter Echtzeitsysteme   | 116        |
| 7.7.2      | AUTOSAR-Mechanismen für funktionale Sicherheit (ISO 26262)   | 117        |
| 7.7.3      | Virtualisierung in der Funktionsabsicherung  | 120        |
| 7.7.4      | Beherrschung von Komplexität und Entwicklungszeitverkürzung  | 121        |
| 7.7.5      | Flexibilisierung von kooperativer und verteilter Entwicklung   | 121        |
| 7.8        | <b>Zusammenfassung</b>   | <b>122</b> |
|            | Literatur  | 122        |
| <br>       |  |            |
| <b>II</b>  | <b>Simulation für Entwicklung und Test von FAS/Virtuelle Entwicklungs- und Testumgebung für FAS</b>                |            |
| <br>       |  |            |
| <b>8</b>   | <b>Virtuelle Integration</b>   | <b>125</b> |
|            | <i>Stephan Hakuli, Markus Krug</i>   |            |
| 8.1        | <b>Durchgängiges Testen und Bewerten im virtuellen Fahrversuch</b>   | <b>126</b> |
| 8.2        | <b>Effiziente Zusammenarbeit zwischen Flersteller und Zulieferer mittels einer Integrations- und Testplattform</b> | <b>127</b> |
| 8.3        | <b>In-the-Loop-Methoden und virtuelle Integration im V-Modell</b>  | <b>128</b> |
| 8.4        | <b>Virtuelle Integration im Entwicklungsprozess</b>  | <b>132</b> |
| 8.4.1      | Spezifizieren mit Hilfe der virtuellen Integration   | 132        |
| 8.4.2      | Integrieren mit Hilfe der virtuellen Integration   | 135        |
| 8.5        | <b>Grenzen der virtuellen Integration</b>  | <b>136</b> |
| 8.5.1      | Simulation von Umfeldsensorik  | 137        |
| 8.5.2      | Simulation der Umwelt  | 137        |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| <b>8.6</b> | <b>Fazit</b>   | 137        |
|            | Literatur  | 138        |
| <b>9</b>   | <b>Dynamische Fahrsimulatoren</b>  | 139        |
|            | <i>Hans-Peter Schöner, Bernhard Morys</i>  |            |
| 9.1        | <b>Allgemeiner Überblick über Fahrsimulatoren</b>  | 140        |
| 9.1.1      | Einsatz von Fahrsimulatoren  | 140        |
| 9.1.2      | Beispiele für dynamische Fahrsimulatoren   | 140        |
| 9.2        | <b>Aufbau eines dynamischen Fahrsimulators am Beispiel des Daimler-Fahrsimulators...</b> | 140        |
| 9.2.1      | Bewegungssystem  | 143        |
| 9.2.2      | Fahrer-Umfeld  | <b>143</b> |
| 9.2.3      | Bildsystem   | <b>143</b> |
| 9.2.4      | Soundsystem  | <b>144</b> |
| 9.2.5      | Modelle der Fahrdynamik und der Umgebung   | 144        |
| 9.2.6      | Abbildung der Bewegung in den beschränkten Bewegungsraum                                 | 145        |
| 9.2.7      | Kinetose (Simulatorkrankheit)  | 145        |
| 9.2.8      | Vorbereitungssimulatoren   | 146        |
| 9.3        | <b>Versuchskonzeption</b>  | 146        |
| 9.3.1      | Zielstellung von Probandenuntersuchungen   | 146        |
| 9.3.2      | Versuchsdesign   | <b>146</b> |
| 9.3.3      | Versuchsvorbereitung   | <b>147</b> |
| 9.3.4      | Ablenkungen  | 149        |
| 9.3.5      | Lerneffekte  | 150        |
| 9.3.6      | Probandenauswahl   | 151        |
| 9.3.7      | Auswertung von Probandenversuchen  | 151        |
| 9.4        | <b>Problematik der Übertragbarkeit, der Realitätsnähe und des Gefahrenempfindens</b>     | <b>152</b> |
| 9.4.1      | Verfahren zur Validierung von Fahrsimulatoren  | 152        |
| 9.4.2      | Realitätsnähe und Gefahrenempfinden  | 152        |
| 9.5        | <b>Zusammenfassung und Ausblick</b>  | 153        |
|            | Literatur  | 154        |
| <b>10</b>  | <b>Vehicle in the Loop</b>   | <b>155</b> |
|            | <i>Guy Berg, Berthold Färber</i>   |            |
| 10.1       | <b>Motivation</b>  | 156        |
| 10.2       | <b>Das Vehicle in the Loop</b>   | 156        |
| 10.2.1     | Anforderungen  | 156        |
| 10.2.2     | Funktionsprinzip   | 157        |
| 10.3       | <b>Meilensteine der VIL-Entwicklung</b>  | 159        |
| 10.4       | <b>Fazit und Ausblick</b>  | 161        |
|            | Literatur  | 163        |

### III Testverfahren

|               |  |            |
|---------------|--|------------|
| <b>11</b>     | <b>Testverfahren für Verbraucherschutz und Gesetzgebung</b>  | <b>167</b> |
|               | <i>Patrick Seiniger, Alexander Weitzel</i>   |            |
| 11.1          | <b>Systematik von Testverfahren</b>  | 168        |
| 11.1.1        | Testverfahren im Produktentwicklungsprozess  | 168        |
| 11.1.2        | Unterscheidung anhand charakteristischer Eigenschaften   | 169        |
| <b>11.2</b>   | <b>Testverfahren für Gesetzgebung und Verbraucherschutz</b>  | <b>170</b> |
| <b>11.2.1</b> | <b>Anforderungen der Gesetzgebung</b>  | <b>171</b> |
| <b>11.2.2</b> | <b>Anforderungen aus dem Verbraucherschutz</b>   | <b>172</b> |
| <b>11.3</b>   | <b>Eigenschaften der Testwerkzeuge</b>   | <b>174</b> |
| 11.3.1        | Pkw-repräsentierende Zielobjekte und Bewegungsvorrichtungen  | 174        |
| 11.3.2        | Fußgänger-repräsentierende Zielobjekte und Bewegungsvorrichtungen  | 176        |
| <b>11.4</b>   | <b>Realitätsnähe und Testaufwand</b>   | <b>180</b> |
| <b>11.5</b>   | <b>Ausblick – was ist in EuroNCAP an Testverfahren zu erwarten?</b>  | <b>181</b> |
|               | Literatur  | 181        |
| <b>12</b>     | <b>Nutzerorientierte Bewertungsverfahren von Fahrerassistenzsystemen</b>   | <b>183</b> |
|               | <i>Jörg Breuer, Christoph von Hugo, Stephan Mücke, Simon Tattersall</i>  |            |
| <b>12.1</b>   | <b>Zielsetzung der nutzerorientierten Bewertung</b>  | <b>184</b> |
| <b>12.2</b>   | <b>Versuchsdesign</b>  | <b>184</b> |
| 12.2.1        | Probanden- vs. Expertenversuche  | 185        |
| 12.2.2        | Versuchspersonenauswahl und -anzahl  | 185        |
| 12.2.3        | Prüfszenarien  | 186        |
| 12.2.4        | Bewertungsparameter und -kriterien   | 186        |
| <b>12.3</b>   | <b>Versuchsumgebung</b>  | <b>187</b> |
| <b>12.4</b>   | <b>Durchführung und Auswertung von Feldabsicherungen</b>   | <b>189</b> |
| <b>12.5</b>   | <b>Exemplarische Anwendungen</b>   | <b>190</b> |
| 12.5.1        | Bewertung der Wirksamkeit von Sicherheitssystemen am Fahrsimulator   | 190        |
| 12.5.2        | Bewertung der Beherrschbarkeit fehlerhafter Bremsungen gemäß ISO 26262   | 191        |
| 12.5.3        | Bewertung der Wirksamkeit einer Sicherheitsfunktion auf dem Testgelände  | 192        |
| 12.5.4        | Bewertung und Optimierung eines Sicherheitssystems zur<br>Fahrerzustandsüberwachung in begleiteten Feldversuchen | 193        |
| 12.5.5        | Feldabsicherung radarbasierter Sicherheits- und Komfortsysteme   | 193        |
|               | Literatur  | 195        |
| <b>13</b>     | <b>EVITA – Das Prüfverfahren zur Beurteilung von Antikollisionssystemen</b>                                      | <b>197</b> |
|               | <i>Norbert Fecher, Jens Hoffmann, Hermann Winner</i>   |            |
| <b>13.1</b>   | <b>Das Dummy Target EVITA</b>  | <b>198</b> |
| 13.1.1        | Ziele  | 198        |
| 13.1.2        | Konzept  | 198        |
| 13.1.3        | Aufbau   | 198        |
| 13.1.4        | Versuchsablauf   | 198        |
| 13.1.5        | Leistungsdaten   | 200        |
| <b>13.2</b>   | <b>Messkonzept im Versuchsfahrzeug</b>   | <b>200</b> |
| <b>13.3</b>   | <b>Gefährdungen von Versuchsteilnehmern</b>  | <b>200</b> |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 13.4      | <b>Bewertungsmethode</b>  | 201        |
| 13.4.1    | Wirksamkeit eines Antikollisionssystems   | 201        |
| 13.4.2    | Probandenversuch  | 201        |
| 13.4.3    | Bewertungskriterien für warnende Frontkollisionsgegenmaßnahmen                                | 202        |
| 13.4.4    | Vergleiche von Antikollisionssystemen   | 203        |
| 13.4.5    | Ergebnisse  | 203        |
| 13.5      | <b>Einsatz in weiteren Studien</b>  | <b>206</b> |
|           | Literatur   | 206        |
| <b>14</b> | <b>Testen mit koordinierten automatisierten Fahrzeugen</b>                                    | 207        |
|           | <i>Hans-Peter Schöner, Wolfgang Hurich</i>  |            |
| 14.1      | <b>Motivation für den Einsatz koordinierter automatisierter Fahrzeuge</b>                     | <b>208</b> |
| 14.2      | <b>Anforderungen an Präzision und Reproduzierbarkeit</b>                                      | <b>209</b> |
| 14.3      | <b>Technische Umsetzung</b>   | <b>210</b> |
| 14.3.1    | Im Fahrzeug: Lenk- und Pedalroboter, Positionsmessung, Safety-Controller, Notbremseinrichtung | 210        |
| 14.3.2    | Im Leitstand: Steuerzentrale, Visualisierung, Koordination, Sicherheit                        | 211        |
| 14.3.3    | Sonstige Systeme: Daten- und Bildübertragung, Datensynchronisation, Luft-Bilder               | 212        |
| 14.4      | <b>Planung von Manövern</b>   | 212        |
| 14.4.1    | Planung einzelner Trajektorien  | 212        |
| 14.4.2    | Planung und Überprüfung koordinierter Trajektorien  | 212        |
| 14.4.3    | Genauigkeit und Wiederholbarkeit  | 213        |
| 14.4.4    | Virtuelle Leitplanken   | 213        |
| 14.5      | <b>Selbstfahrende Targets</b>   | 213        |
| 14.5.1    | Soft-Crash-Target   | 214        |
| 14.5.2    | Überfahrbarer Target-Träger   | 215        |
| 14.6      | <b>Beispiele für automatisierte Fahrmanöver</b>   | 216        |
| 14.6.1    | Fahrerlose Manöver einzelner Fahrzeuge  | 216        |
| 14.6.2    | Koordinierte Manöver mit mehreren fahrerlosen Fahrzeugen                                      | 216        |
| 14.6.3    | Manöver mit Fahrer, mitgetriggerten beziehungsweise synchronisierten Targets                  | 217        |
| 14.7      | <b>Zukünftige Entwicklungen</b>   | <b>218</b> |
|           | Literatur   | 218'       |

## **IV Sensorik für Fahrerassistenzsysteme**

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| <b>15</b> | <b>Fahrdynamiksensoren für FAS</b>                          | 223 |
|           | <i>Matthias Mörbe</i>                                       |     |
| 15.1      | <b>Einleitung</b>   | 224 |
| 15.2      | <b>Allgemeine Auswahlkriterien</b>                          | 224 |
| 15.2.1    | Anforderungen Technikebene                                  | 224 |
| 15.2.2    | Kommerzielle Ebene  | 228 |
| 15.3      | <b>Technische Sensorkendaten für Fahrerassistenzsysteme</b> | 228 |
| 15.3.1    | Sensoren und Einbauorte                                     | 228 |
| 15.3.2    | Raddrehzahlsensor DF  | 229 |
| 15.3.3    | Lenkradwinkelsensoren                                       | 232 |
| 15.3.4    | Drehraten- und Beschleunigungssensoren                      | 234 |

## Inhaltsverzeichnis

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| 15.3.5      | Bremsdrucksensoren                            | 237        |
| 15.3.6      | Bremspedalwegsensoren                         | 239        |
|             | Literatur                                     | 240        |
| <b>16</b>   | <b>Ultraschallsensorik</b>                    | <b>243</b> |
|             | <i>Martin Noll, Peter Rapps</i>               |            |
| <b>16.1</b> | <b>Einleitung</b>                             | <b>244</b> |
| <b>16.2</b> | <b>Grundlagen der Ultraschallwandlung</b>     | <b>244</b> |
| 16.2.1      | Piezoelektrischer Effekt                      | 244        |
| 16.2.2      | Piezoelektrische Keramiken                    | 244        |
| <b>16.3</b> | <b>Ultraschallwandler</b>                     | <b>246</b> |
| 16.3.1      | Ersatzschaltbild                              | 247        |
| <b>16.4</b> | <b>Ultraschallsensoren für das Kfz</b>        | <b>248</b> |
| 16.4.1      | Sensorbaugruppen                              | 248        |
| <b>16.5</b> | <b>Antennen und Strahlgestaltung</b>          | <b>250</b> |
| 16.5.1      | Simulation                                    | 250        |
| <b>16.6</b> | <b>Entfernungsmessung</b>                     | <b>252</b> |
| 16.6.1      | Trilateration und Objektlokalisierung         | 252        |
| <b>16.7</b> | <b>Halter- und Befestigungskonzepte</b>       | <b>255</b> |
| <b>16.8</b> | <b>Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit</b> | <b>256</b> |
| <b>16.9</b> | <b>Zusammenfassung und Ausblick</b>           | <b>257</b> |
|             | Literatur                                     | 258        |
| <b>17</b>   | <b>Radarsensorik</b>                          | <b>259</b> |
|             | <i>Hermann Winner</i>                         |            |
| <b>17.1</b> | <b>Ausbreitung und Reflektion</b>             | <b>260</b> |
| <b>17.2</b> | <b>Abstands- und Geschwindigkeitsmessung</b>  | <b>263</b> |
| 17.2.1      | Grundprinzip Modulation und Demodulation      | 264        |
| 17.2.2      | Doppler-Effekt                                | 264        |
| 17.2.3      | Mischen von Signalen                          | 265        |
| 17.2.4      | Pulsmodulation                                | 267        |
| 17.2.5      | Frequenzmodulation                            | 270        |
| <b>17.3</b> | <b>Winkelmessung</b>                          | <b>279</b> |
| 17.3.1      | Antennen-theoretische Vorbetrachtungen        | 279        |
| 17.3.2      | Scanning                                      | 280        |
| 17.3.3      | Monopuls                                      | 281        |
| 17.3.4      | Mehrstrahler                                  | 283        |
| 17.3.5      | Dual-Sensor-Konzept                           | 285        |
| 17.3.6      | Planar-Antennen-Arrays:                       | 286        |
| <b>17.4</b> | <b>Hauptparameter der Leistungsfähigkeit</b>  | <b>288</b> |
| 17.4.1      | Abstand                                       | 288        |
| 17.4.2      | Relativgeschwindigkeit                        | 288        |
| 17.4.3      | Azimutwinkel                                  | 288        |
| 17.4.4      | Leistungsfähigkeit und Mehrzielfähigkeit      | 289        |
| 17.4.5      | 24 GHz vs. 77 GHz                             | 290        |
| 17.5        | <b>Signalverarbeitung und Tracking</b>        | 291        |
| <b>17.6</b> | <b>Einbau und Justage</b>                     | <b>294</b> |
| <b>17.7</b> | <b>Elektromagnetische Verträglichkeit</b>     | <b>296</b> |

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| <b>17.8</b> | <b>Ausführungsbeispiele</b>   | <b>297</b> |
| 17.8.1      | Bosch LRR3  | 297        |
| 17.8.2      | Bosch Radarsensoren der vierten Generation                            | 299        |
| 17.8.3      | Continental ARS 300   | 303        |
| 17.8.4      | Continental SRR 200   | 306        |
| 17.8.5      | Hella 24 GHz Mid-Range-Radar  | 306        |
| 17.8.6      | TRW AC1000  | 310        |
| 17.8.7      | Valeo MBH   | 312        |
| <b>17.9</b> | <b>Zusammenfassung und Ausblick</b>                                   | <b>313</b> |
|             | Literatur   | 315        |
| <br>        |   |            |
| <b>18</b>   | <b>LIDAR-Sensorik</b>   | <b>317</b> |
|             | <i>Heinrich Gotzig, Georg Geduld</i>                                  |            |
| <b>18.1</b> | <b>Funktion, Prinzip</b>  | <b>318</b> |
| 18.1.1      | Begrifflichkeit   | 318        |
| 18.1.2      | Messverfahren Distanzsensor   | 318        |
| 18.1.3      | Weitere Funktionalität  | 320        |
| 18.1.4      | Aufbau  | 320        |
| 18.1.5      | Transmissions- und Reflexionseigenschaften                            | 323        |
| 18.1.6      | Geschwindigkeitsbewegungsermittlung                                   | 324        |
| 18.1.7      | Tracking-Verfahren und Auswahl relevanter Ziele                       | 325        |
| <b>18.2</b> | <b>Applikation im Fahrzeug</b>  | <b>328</b> |
| 18.2.1      | Laserschutz   | 328        |
| 18.2.2      | Integration für nach vorne gerichtete Sensoren (zum Beispiel für ACC) | 329        |
| <b>18.3</b> | <b>Zusatzfunktionen</b>   | <b>329</b> |
| 18.3.1      | Sichtweitenmessung  | 329        |
| 18.3.2      | Tag/Nacht-Erkennung   | 329        |
| 18.3.3      | Verschmutzungserkennung   | 329        |
| 18.3.4      | Geschwindigkeitsermittlung  | 329        |
| 18.3.5      | Fahrerverhalten/-zustand  | 329        |
| 18.3.6      | Objektausdehnung/-erkennung   | 329        |
| <b>18.4</b> | <b>Aktuelle Serienbeispiele:</b>                                      | <b>330</b> |
| <b>18.5</b> | <b>Ausblick</b>   | <b>333</b> |
|             | Literatur   | 334        |
| <br>        |   |            |
| <b>19</b>   | <b>3D Time-of-Flight (ToF)</b>  | <b>335</b> |
|             | <i>Bernd Buxbaum, Robert Lange, Thorsten Ringbeck</i>                 |            |
| <b>19.1</b> | <b>Einordnung und Erläuterung des Grundkonzeptes</b>                  | <b>336</b> |
| <b>19.2</b> | <b>Vorteile und Applikationen</b>                                     | <b>336</b> |
| <b>19.3</b> | <b>Grundsätzliche Lösungen zur 3D-Erfassung</b>                       | <b>337</b> |
| 19.3.1      | Formerkennung mit optisch inkohärenter Modulationslaufzeitmessung     | 338        |
| 19.3.2      | Das PMD-Prinzip   | 340        |
| <b>19.4</b> | <b>Module eines PMD-Systems</b>                                       | <b>340</b> |
| 19.4.1      | PMD-Imager: 2D-Mischer und Integrator                                 | 341        |
| 19.4.2      | Beleuchtung   | 343        |
| 19.4.3      | Weiterverarbeitung (Merkmalsextraktion, Objekttracking)               | 343        |
| <b>19.5</b> | <b>Leistungsfähigkeit und Leistungsgrenzen des Gesamtsystems</b>      | <b>344</b> |
|             | Literatur   | 346        |

|               |  |            |
|---------------|--|------------|
| <b>20</b>     | <b>Kamera-Hardware</b>   | 347        |
|               | <i>Martin Punke, Stefan Menzel, Boris Werthessen, Nicolaj Stäche, Maximilian Höpfl</i> |            |
| <b>20.1</b>   | <b>Einsatzgebiete und Beispielanwendungen</b>  | <b>348</b> |
| 20.1.1        | Fahrer- und Innenraumüberwachung   | 348        |
| 20.1.2        | Umfelderfassung  | 349        |
| <b>20.2</b>   | <b>Kameras für Fahrerassistenzsysteme</b>  | <b>352</b> |
| 20.2.1        | Kriterien für die Auslegung  | 352        |
| <b>20.3</b>   | <b>Kameramodul</b>   | <b>355</b> |
| 20.3.1        | Aufbau eines Kameramoduls  | 355        |
| <b>20.3.2</b> | <b>Optik</b>   | <b>356</b> |
| 20.3.3        | Bildsensor   | 358        |
| 20.4          | <b>Systemarchitektur</b>   | 362        |
| 20.4.1        | Systemübersicht  | 362        |
| 20.4.2        | Monokamera-Architektur   | 363        |
| 20.4.3        | Stereokamera-Architektur   | 364        |
| <b>20.5</b>   | <b>Kalibrierung</b>  | <b>365</b> |
| 20.5.1        | Kalibrierparameter   | 366        |
| 20.5.2        | Orte der Kalibrierung und Kalibrierverfahren   | 366        |
| <b>20.6</b>   | <b>Ausblick</b>  | <b>367</b> |
|               | Literatur  | 367        |
| <b>21</b>     | <b>Maschinelles Sehen</b>  | 369        |
|               | <i>Christoph Stiller, Alexander Bachmann, Andreas Geiger</i>                           |            |
| <b>21.1</b>   | <b>Bildentstehung</b>  | <b>370</b> |
| 21.1.1        | Projektive Abbildung   | 370        |
| 21.1.2        | Bildrepräsentation   | 371        |
| <b>21.2</b>   | <b>Bildverarbeitung</b>  | 372        |
| 21.2.1        | Bildverbesserung   | 373        |
| 21.2.2        | Merkmalsextraktion   | 374        |
| <b>21.3</b>   | <b>3d Rekonstruktion der Szenengeometrie</b>   | 378        |
| 21.3.1        | Stereoskopie   | 378        |
| 21.3.2        | Motion-Stereo  | 381        |
| 21.3.3        | Trifokal-Tensor  | 382        |
| <b>21.4</b>   | <b>Zeitliche Verfolgung</b>  | <b>383</b> |
| 21.4.1        | Bayes-Filter   | 383        |
| 21.4.2        | Partikelfilter   | 384        |
| 21.4.3        | Zeitliche Verfolgung mit dem Kaiman-Filter   | 384        |
| <b>21.5</b>   | <b>Anwendungsbeispiele</b>   | 385        |
| 21.5.1        | Objektdetektion  | 387        |
| 21.5.2        | Kreuzungserkennung   | 388        |
| <b>21.6</b>   | <b>Zusammenfassung und Ausblick</b>  | <b>391</b> |
|               | Literatur  | 392        |
| <b>22</b>     | <b>Stereosehen</b>   | 395        |
|               | <i>Uwe Franke, Stefan Gehrig</i>   |            |
| <b>22.1</b>   | <b>Lokale und globale Verfahren der Disparitätsschätzung</b>                           | <b>398</b> |
| 22.1.1        | Lokale Korrelationsverfahren   | 398        |
| 22.1.2        | Globale Stereoverfahren  | 401        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>22.2 Genauigkeit der Stereoanalyse</b>                             | <b>403</b> |
| 22.2.1 Subpixelgenaue Schätzung                                       | 404        |
| 22.2.2 Effekte einer Dekalibrierung                                   | 405        |
| <b>22.3 6D-Vision</b>   | <b>407</b> |
| 22.3.1 Das Prinzip  | 408        |
| 22.3.2 Dense6D  | 410        |
| <b>22.4 Stixel-Welt</b>   | <b>412</b> |
| 22.4.1 Optimale Berechnung  | 412        |
| 22.4.2 Bildverstehen in der Stixel-Welt                               | 415        |
| <b>22.5 Zusammenfassung</b>   | <b>418</b> |
| Literatur   | 419        |
| <br>  |            |
| <b>23 Kamerabasierte Fußgängerdetektion</b>                           | <b>421</b> |
| <i>Bernt Schiele, Christian Wojek</i>                                 |            |
| 23.1 <b>Anforderungen</b>   | 422        |
| 23.2 <b>Mögliche Ansätze</b>  | <b>423</b> |
| 23.3 <b>Beschreibung des Funktionsprinzips</b>                        | <b>424</b> |
| 23.3.1 Sliding-Window-Ansätze   | 424        |
| 23.3.2 Merkmalspunkt- und körperteilbasierte Ansätze                  | 427        |
| 23.3.3 Systemorientierte Ansätze                                      | 431        |
| 23.4 <b>Beschreibungen der Anforderungen an Hardware und Software</b> | <b>432</b> |
| 23.5 <b>Ausblick</b>  | <b>433</b> |
| Literatur   | 434        |

## V Datenfusion und Umfeldpräsentation

|  |            |
|--|------------|
| <b>24 Fusion umfelderfassender Sensoren</b>                            | <b>439</b> |
| <i>Michael Darms</i>   |            |
| 24.1 <b>Definition Sensordatenfusion</b>                               | 440        |
| 24.1.1 Ziele der Datenfusion   | 441        |
| 24.2 <b>Hauptkomponenten der Sensordatenverarbeitung</b>               | <b>442</b> |
| 24.2.1 Signalverarbeitung und Merkmalsextraktion                       | 442        |
| 24.2.2 Datenassoziation  | 443        |
| 24.2.3 Datenfilterung  | 445        |
| 24.2.4 Klassifikation  | 446        |
| 24.2.5 Situationsanalyse   | 446        |
| 24.3 <b>Architekturmuster zur Sensordatenfusion von Umfoldsensoren</b> | <b>446</b> |
| 24.3.1 Dezentral – Zentral – Hybrid                                    | 446        |
| 24.3.2 Rohdatenebene – Merkmalsebene – Entscheidungsebene              | 448        |
| 24.3.3 Synchronisiert – Unsynchronisiert                               | 448        |
| 24.3.4 Neue Daten – Datenkonstellation – Externes Ereignis             | 448        |
| 24.3.5 Originaldaten – Gefilterte Daten – Prädizierte Daten            | 450        |
| 24.3.6 Parallel – Sequenziell  | 450        |
| 24.4 <b>Abschließende Bemerkung</b>                                    | 450        |
| Literatur  | 450        |

|               |  |             |
|---------------|--|-------------|
| <b>25</b>     | <b>Repräsentation fusionierter Umfelddaten</b>                         | <b>453</b>  |
|               | <i>Klaus Dietmayer, Dominik Nuß, Stephan Reuter</i>                    |             |
| <b>25.1</b>   | <b>Anforderungen an Fahrzeugumgebungsrepräsentationen</b>              | <b>,454</b> |
| <b>25.2</b>   | <b>Objektbasierte Darstellungen</b>                                    | <b>.456</b> |
| <b>25.2.1</b> | Sensorspezifische Objektmodelle und Koordinatensysteme                 | .456        |
| <b>25.2.2</b> | Zustands- und Existenzunsicherheiten                                   | .457        |
| <b>25.2.3</b> | Grundlegende Verfahren des Multi-Objekt-Trackings                      | .458        |
| <b>25.2.4</b> | Eigenlokalisierung und Einbeziehung von digitalen Karten               | .466        |
| <b>25.2.5</b> | Zeitliche Aspekte  | .467        |
| <b>25.3</b>   | <b>Rasterbasierte Verfahren</b>  | <b>,467</b> |
| <b>25.3.1</b> | Konzept der Rasterkarten   | ,467        |
| <b>25.3.2</b> | Eigenbewegungsschätzung  | .468        |
| <b>25.3.3</b> | Algorithmen zur Erzeugung von Belegungskarten                          | ,469        |
| <b>25.3.4</b> | Behandlung von bewegten Objekten                                       | ,474        |
| <b>25.3.5</b> | Effiziente Speicherverwaltung  | .475        |
| <b>25.4</b>   | <b>Architekturen und hybride Darstellungsformen</b>                    | <b>.475</b> |
| <b>25.5</b>   | <b>Zusammenfassung</b>   | <b>,477</b> |
|               | Literatur  | .478        |
| <b>26</b>     | <b>Datenfusion für die präzise Lokalisierung</b>                       | <b>,481</b> |
|               | <i>Nico Steinhardt, Stefan Leinen</i>                                  |             |
| <b>26.1</b>   | <b>Anforderungen an eine Datenfusion</b>                               | <b>.482</b> |
| <b>26.2</b>   | <b>Grundlagen</b>  | <b>.483</b> |
| <b>26.2.1</b> | Koordinatensysteme   | .483        |
| <b>26.2.2</b> | Lokalisierungssensoren und deren Eigenschaften                         | .484        |
| <b>26.3</b>   | <b>Klassifizierung und Ontologien für Filter zur Sensordatenfusion</b> | <b>.485</b> |
| <b>26.3.1</b> | Klassifizierung der Anbindung von Sensoren an das Filter               | .486        |
| <b>26.3.2</b> | Klassifizierung der Schätzgrößen des Filters                           | .487        |
| <b>26.3.3</b> | Klassifizierung verschiedener Filtertypen                              | .489        |
| <b>26.4</b>   | <b>Erweiterungen für Fusionsfilter</b>                                 | <b>.489</b> |
| <b>26.4.1</b> | Einbindung von Odometriemessungen                                      | .489        |
| <b>26.4.2</b> | Kompensation von verzögerter Messwertverfügbarkeit                     | .490        |
| <b>26.4.3</b> | Plausibilisierung  | .491        |
| <b>26.5</b>   | <b>Datenqualitätsbeschreibung</b>                                      | <b>.494</b> |
| <b>26.5.1</b> | Integrität   | .494        |
| <b>26.5.2</b> | Genauigkeit  | .497        |
| <b>26.6</b>   | <b>Beispiel einer Umsetzung</b>  | <b>.499</b> |
| <b>26.6.1</b> | Architektur  | .499        |
| <b>26.6.2</b> | Bewegte Referenzsysteme/„Trägerplattform“                              | .501        |
| <b>26.6.3</b> | Umsetzung Integritätsmaß   | .503        |
| <b>26.6.4</b> | Genauigkeitsmaß  | .505        |
| <b>26.6.5</b> | Exemplarische Ergebnisse   | .507        |
| <b>26.7</b>   | <b>Ausblick und Fazit</b>  | <b>.508</b> |
|               | Literatur  | .510        |

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| <b>27</b>   | <b>Digitale Karten im Navigation Data Standard Format</b>                         | 513        |
|             | <i>Ralph Behrens, Thomas Kleine-Besten, Werner Pöchmüller, Andreas Engelsberg</i> |            |
| <b>27.1</b> | <b>Ziele der Standardisierung</b>   | <b>514</b> |
| <b>27.2</b> | <b>Merkmale des NDS-Standards</b>   | <b>515</b> |
| <b>27.3</b> | <b>Wachstum der Datenmenge durch neue Merkmale</b>                                | <b>516</b> |
| <b>27.4</b> | <b>Struktur der Daten innerhalb einer NDS-Datenbank</b>                           | <b>516</b> |
| <b>27.5</b> | <b>NDS Building Blocks</b>  | <b>516</b> |
| 27.5.1      | Overall Building Block  | 516        |
| 27.5.2      | Routing Building Block  | 516        |
| 27.5.3      | SQLite Index (SU)   | 517        |
| 27.5.4      | POI Building Block  | 518        |
| 27.5.5      | Naming Building Block   | 518        |
| 27.5.6      | Free Text Search Building Block   | 518        |
| 27.5.7      | Phonetic/Speech Building Block  | 519        |
| 27.5.8      | Traffic Information Building Block  | 519        |
| 27.5.9      | Basic Map Display Building Block  | 519        |
| 27.5.10     | Advanced Map Display  | 519        |
| 27.5.11     | Digital Terrain Model Building Block  | 520        |
| 27.5.12     | Orthoimages Building Block  | 520        |
| 27.5.13     | 3D Objects Building Block   | 520        |
| 27.5.14     | Junction View Building Block  | 520        |
| <b>27.6</b> | <b>NDS-Datenbankstruktur/Generalisierung</b>                                      | <b>520</b> |
| <b>27.7</b> | <b>Aufbau der NDS-Datenbank</b>   | <b>521</b> |
| 27.7.1      | DataScript und RDS  | 522        |
| 27.7.2      | NDS-Format-Erweiterung  | 522        |
| 27.7.3      | NDS-Datenbank-Werkzeuge   | 522        |
| <b>27.8</b> | <b>Zukunft des NDS-Standard</b>   | <b>522</b> |
|             | Literatur   | 523        |
| <b>28</b>   | <b>Car-2-X</b>  | <b>525</b> |
|             | <i>Hendrik Fuchs, Frank Hofmann, Hans Lohr, Gunther Schaaß</i>                    |            |
| <b>28.1</b> | <b>Motivation und Einführung</b>  | <b>526</b> |
| <b>28.2</b> | <b>Datenkommunikation</b>   | <b>526</b> |
| 28.2.1      | Funkkanal und Übertragungssystem  | 526        |
| 28.2.2      | Frequenzallokation  | 527        |
| 28.2.3      | Standardisierung  | 528        |
| <b>28.3</b> | <b>Systemübersicht</b>  | <b>528</b> |
| 28.3.1      | ITS Station   | 528        |
| <b>28.4</b> | <b>Datensicherheit und Schutz der Privatsphäre</b>                                | <b>529</b> |
| 28.4.1      | Sicherheitsprobleme   | 529        |
| 28.4.2      | Aspekte der Privatsphäre  | 529        |
| 28.4.3      | Schutzziele und Herausforderungen   | 530        |
| 28.4.4      | Lösungsansätze und -mechanismen   | 530        |
| 28.4.5      | Stand von Technik und Umsetzung   | 532        |
| <b>28.5</b> | <b>Car-2-X Anwendungen</b>  | <b>532</b> |
| 28.5.1      | Anforderungen und grundsätzliche Funktionsweise                                   | 532        |
| 28.5.2      | Anwendungsbeispiele   | 534        |
| 28.5.3      | Umsetzung und Erprobung im Projekt sim <sup>TD</sup>                              | 535        |

|               |   |             |
|---------------|---|-------------|
| <b>28.6</b>   | <b>Ökonomische Bewertung und Einführungsszenarien</b>   | <b>537</b>  |
| <b>28.6.1</b> | Wirkung und Nutzen  | <b>537</b>  |
| <b>28.6.2</b> | Ökonomische Bewertung   | <b>.538</b> |
| <b>28.6.3</b> | Einführungsszenarien und Ausblick   | <b>538</b>  |
|               | Literatur   | <b>539</b>  |
| <b>29</b>     | <b>Backendsysteme zur Erweiterung der Wahrnehmungsreichweite von Fahrerassistenzsystemen</b>                                  | <b>.541</b> |
|               | <i>Felix Klanner, Christian Ruhhammer</i>   |             |
| <b>29.1</b>   | <b>Aktuelle backendbasierte Fahrerassistenzsysteme</b>  | <b>.542</b> |
| <b>29.2</b>   | <b>Was sind Backendsysteme?</b>   | <b>.542</b> |
| <b>29.2.1</b> | Digitale Karten   | <b>.542</b> |
| <b>29.2.2</b> | Servertechnologien  | <b>.542</b> |
| <b>29.2.3</b> | Sendeeinheit im Fahrzeug  | <b>.547</b> |
| <b>29.3</b>   | <b>Eigenschaften der Datenübertragung</b>   | <b>.547</b> |
| <b>29.4</b>   | <b>Nächste Generation backendbasierter Assistenzsysteme</b>   | <b>.549</b> |
| <b>29.5</b>   | <b>Extraktion von fahrerassistenzsystemrelevanten Informationen aus Flottendaten im Backend</b>                               | <b>.550</b> |
| <b>29.6</b>   | <b>Zusammenfassung</b>  | <b>.551</b> |
|               | Literatur   | <b>.552</b> |
| <b>VI</b>     | <b>Aktorik für Fahrerassistenzsysteme</b>   |             |
| <b>30</b>     | <b>Hydraulische Pkw-Bremssysteme</b>  | <b>.555</b> |
|               | <i>James Remfrey, Steffen Gruber, Norbert Ocvirk</i>  |             |
| <b>30.1</b>   | <b>Standardarchitektur</b>  | <b>.556</b> |
| <b>30.1.1</b> | Betätigung  | <b>.556</b> |
| <b>30.1.2</b> | Modulation  | <b>.561</b> |
| <b>30.1.3</b> | Radbremsen  | <b>.563</b> |
| <b>30.2</b>   | <b>Erweiterte Architekturen</b>   | <b>.564</b> |
| <b>30.2.1</b> | Regeneratives Bremssystem RBS-SBA   | <b>.565</b> |
| <b>30.2.2</b> | Elektrohydraulische Bremse EHB  | <b>.566</b> |
| <b>30.2.3</b> | Integrale Bremssysteme  | <b>.572</b> |
| <b>30.3</b>   | <b>Dynamik hydraulischer Bremssysteme</b>   | <b>.573</b> |
|               | Literatur   | <b>.576</b> |
| <b>31</b>     | <b>Elektromechanische Bremssysteme</b>  | <b>.579</b> |
|               | <i>Bernward Bayer, Axel Büse, Paul Linhoff, Bernd Piller, Peter Rieth, Stefan Schmitt, Bernhard Schmittner, Jürgen Völkel</i> |             |
| <b>31.1</b>   | <b>Das EHCB-System (Electric Hydraulic Combined Brake, Hybrid-Bremssystem)</b>  | <b>.580</b> |
| <b>31.1.1</b> | Motivation  | <b>.580</b> |
| <b>31.1.2</b> | Systemarchitektur und Komponenten   | <b>.580</b> |
| <b>31.1.3</b> | Regelfunktionen   | <b>.580</b> |
| <b>31.1.4</b> | Hinterachs-Aktor  | <b>.582</b> |
| <b>31.2</b>   | <b>Die Elektrische Parkbremse (EPB)</b>   | <b>.582</b> |
| <b>31.2.1</b> | Motivation  | <b>.582</b> |
| <b>31.2.2</b> | System und Komponenten  | <b>.582</b> |

|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| 31.2.3      | Systemarchitektur  | 583        |
| 31.2.4      | Aktorik  | 585        |
| 31.2.5      | Schnittstellen des Steuergeräts                                  | 586        |
| 31.2.6      | Funktionen   | 587        |
| <b>31.3</b> | <b>Fazit</b>   | <b>589</b> |
|             | Literatur  | 589        |
| <br>        |  |            |
| <b>32</b>   | <b>Lenkstellensysteme</b>  | <b>591</b> |
|             | <i>Gerd Reimann, Peter Brenner, Hendrik Büring</i>               |            |
| <b>32.1</b> | <b>Allgemeine Anforderungen an Lenksysteme</b>                   | <b>592</b> |
| <b>32.2</b> | <b>Basislösungen der Lenkunterstützung</b>                       | <b>592</b> |
| 32.2.1      | Die hydraulische Hilfskraftlenkung (HPS)                         | 592        |
| 32.2.2      | Die parametrierbare hydraulische Hilfskraftlenkung               | 593        |
| 32.2.3      | Die elektrohydraulische Hilfskraftlenkung (EHPS)                 | 593        |
| 32.2.4      | Die elektromechanische Hilfskraftlenkung (EPS)                   | 594        |
| 32.2.5      | Elektrische Komponenten  | 598        |
| <b>32.3</b> | <b>Lösungen zur Überlagerung von Momenten</b>                    | <b>599</b> |
| 32.3.1      | Zusatzaktor für hydraulische Lenksysteme                         | 599        |
| 32.3.2      | Elektrische Lenksysteme  | 600        |
| <b>32.4</b> | <b>Lösungen zur Überlagerung von Winkeln</b>                     | <b>603</b> |
| 32.4.1      | Einleitung   | 603        |
| 32.4.2      | Funktionalität   | 603        |
| 32.4.3      | Stellervarianten   | 604        |
| 32.4.4      | Einsatzbeispiel BMW E60 – ZFLS-Aktor am Lenkgetriebe             | 605        |
| 32.4.5      | Einsatzbeispiel Audi A4 – ZFLS-Aktor in der Lenksäule            | 607        |
| 32.4.6      | Einsatzbeispiel Lexus – koaxialer Lenksäulenaktor lenkwellenfest | 610        |
| 32.5        | <b>Steer-by-Wire-Lenksystem und Einzelradlenkung</b>             | 611        |
| 32.5.1      | Systemkonzept und Bauteile                                       | 612        |
| 32.5.2      | Technik, Vorteile und Chancen                                    | 613        |
| <b>32.6</b> | <b>Hinterachslenksysteme</b>                                     | <b>614</b> |
| 32.6.1      | Grundfunktionen und Kundennutzen                                 | 614        |
| 32.6.2      | Funktionsprinzip   | 615        |
| 32.6.3      | Systemgestaltung / Aufbau des Systems                            | 615        |
| 32.6.4      | Vernetzung / erweiterte Funktionalität                           | 616        |
|             | Literatur  | 617        |

## VII Mensch-Maschine-Schnittstelle für Fahrerassistenzsysteme

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| <b>33</b>   | <b>Nutzergerechte Entwicklung der Mensch-Maschine-Interaktion von Fahrerassistenzsystemen</b> | <b>621</b> |
|             | <i>Winfried König</i>   |            |
| <b>33.1</b> | <b>Übersicht</b>  | <b>622</b> |
| <b>33.2</b> | <b>Fragestellungen bei der Entwicklung der Mensch-Maschine-Interaktion (HMI) von FAS</b>      | <b>622</b> |
| 33.2.1      | Unterstützung durch FAS   | 622        |
| 33.2.2      | Leistungen und Grenzen der FAS  | 622        |

|                |   |            |
|----------------|---|------------|
| 33.2.3         | Benötigte Kompetenzen und Fachbereiche                                    | 623        |
| 33.2.4         | Einflussfaktoren bei der Entwicklung von FAS                              | 623        |
| 33.2.5         | Interaktionskanäle zwischen Fahrer, FAS und Fahrzeug                      | 623        |
| <b>33.2.6</b>  | <b>Änderung der Beziehung Fahrer-Fahrzeug durch FAS</b>                   | <b>624</b> |
| 33.2.7         | Situationsbewusstsein und Absicht des Fahrers                             | 624        |
| <b>33.2.8</b>  | <b>Inneres Modell</b>   | <b>625</b> |
| <b>33.2.9</b>  | <b>Entlastung oder Belastung durch FIS und FAS?</b>                       | <b>626</b> |
| <b>33.2.10</b> | <b>Verantwortung des Fahrers</b>  | <b>626</b> |
| 33.2.11        | Stärken von Mensch und Maschine   | 626        |
| <b>33.3</b>    | <b>Systematische Entwicklung des HMI von FAS</b>                          | <b>627</b> |
| 33.3.1         | Die Entwicklung des HMI im FAS-Entwicklungsprozess                        | 627        |
| 33.3.2         | Unterstützungsbedarf des Fahrers  | 627        |
| 33.3.3         | Leitlinien zur Entwicklung von FIS und FAS                                | 627        |
| 33.3.4         | Richtlinien für FIS -„European Statements of Principles on HMI" (ESoP)    | 628        |
| 33.3.5         | Normen zur Gestaltung von FIS und FAS                                     | 629        |
| 33.3.6         | Entwicklung von Normen  | 629        |
| 33.3.7         | ISO-Normen zu HMI im Kfz  | 629        |
| <b>33.4</b>    | <b>Bewertung von FAS-Gestaltungen</b>                                     | <b>630</b> |
| 33.4.1         | Bewertungsverfahren   | 630        |
| 33.4.2         | Instrumente zur Beurteilung des Fahrerhaltens                             | 630        |
| 33.4.3         | Bewertungsumgebung  | 630        |
| 33.4.4         | Anwendung der Verfahren und Fehlermöglichkeiten                           | 631        |
| <b>33.5</b>    | <b>Zusammenfassung</b>  | <b>632</b> |
|                | Literatur   | 632        |
| <b>34</b>      | <b>Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen</b>                      | <b>633</b> |
|                | <i>Ralph Bruder, Muriel Didier</i>  |            |
| <b>34.1</b>    | <b>Ein Arbeitsmodell von Mensch-Maschine-Schnittstellen</b>               | <b>634</b> |
| <b>34.2</b>    | <b>Grundeinteilung der Schnittstellen</b>                                 | <b>634</b> |
| 34.2.1         | Bedienelemente  | 635        |
| <b>34.2.2</b>  | <b>Anzeige</b>  | <b>637</b> |
| <b>34.3</b>    | <b>Gestaltungsleitsätze und -prinzipien</b>                               | <b>638</b> |
| 34.3.1         | Gestaltungsleitsätze  | 638        |
| <b>34.3.2</b>  | <b>Gestaltungsprinzipien</b>  | <b>640</b> |
| <b>34.4</b>    | <b>Gestaltungsprozess</b>   | <b>641</b> |
| <b>34.5</b>    | <b>Praxis und Gestaltungsprozess</b>                                      | <b>643</b> |
|                | Literatur   | 645        |
| <b>35</b>      | <b>Bedienelemente</b>   | <b>647</b> |
|                | <i>Klaus Bengier, Matthias Pfromm, Ralph Bruder</i>                       |            |
| <b>35.1</b>    | <b>Anforderungen an Bedienelemente für Fahrerassistenzsysteme</b>         | <b>648</b> |
| <b>35.2</b>    | <b>Bestimmung des Handlungsorgans, der Körperhaltung und der Greifart</b> | <b>649</b> |
| <b>35.3</b>    | <b>Festlegung der Bedienteilart</b>                                       | <b>649</b> |
| <b>35.4</b>    | <b>Vermeiden von unbeabsichtigtem und unbefugtem Stellen</b>              | <b>651</b> |
| <b>35.5</b>    | <b>Festlegung der räumlichen Anordnung und geometrische Integration</b>   | <b>652</b> |
| <b>35.6</b>    | <b>Festlegung von Rückmeldung, Bedienrichtung, -weg und -widerstand</b>   | <b>652</b> |
| <b>35.7</b>    | <b>Kennzeichnung der Stellteile</b>                                       | <b>654</b> |

|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| <b>35.8</b> | <b>Alternative Bedienkonzepte</b>                              | <b>654</b> |
| 35.8.1      | Gestenbedienung  | 654        |
| 35.8.2      | Blicksteuerung   | 655        |
| 35.8.3      | Brain Computer Interface                                       | 656        |
| 35.8.4      | Sprachsteuerung  | 656        |
|             | Literatur  | 656        |
| <b>36</b>   | <b>Anzeigen für Fahrerassistenzsysteme</b>                     | <b>659</b> |
|             | <i>Peter Knoll</i>   |            |
| 36.1        | <b>Heutige Displaykonzepte im Kraftfahrzeug</b>                | <b>660</b> |
| 36.1.1      | Kommunikationsbereiche im Fahrzeug                             | 660        |
| 36.1.2      | Displays für das Kombiinstrument                               | 661        |
| 36.1.3      | Head-up-Display (HUD)  | 663        |
| 36.1.4      | Zentrale Anzeige- und Bedieneinheit in der Mittelkonsole       | 664        |
| 36.1.5      | Displays für Nachtsichtsysteme                                 | 665        |
| 36.1.6      | Zusatzdisplays   | 665        |
| 36.2        | <b>Anzeigen für das Kraftfahrzeug</b>                          | <b>667</b> |
| 36.2.1      | Elektromechanische Messwerke                                   | 667        |
| 36.2.2      | Aktive und passive Segmentdisplays                             | 668        |
| 36.2.3      | Grafikanzeigen für Kombiinstrument und Mittelkonsole           | 671        |
| 36.3        | <b>Zukünftige Displaykonzepte im Kraftfahrzeug</b>             | <b>672</b> |
| 36.3.1      | Kontaktanaloges Head-up-Display                                | 672        |
| 36.3.2      | Laserprojektion  | 672        |
|             | Literatur  | 673        |
| <b>37</b>   | <b>Fahrerwarnelemente</b>                                      | <b>675</b> |
|             | <i>Norbert Fecher, Jens Hoffmann</i>                           |            |
| 37.1        | <b>Einleitung</b>  | <b>676</b> |
| 37.2        | <b>Menschliche Informationsverarbeitung</b>                    | <b>676</b> |
| 37.3        | <b>Schnittstellen zwischen Mensch und Maschine</b>             | <b>677</b> |
| 37.4        | <b>Anforderungen an Warnelemente</b>                           | <b>678</b> |
| 37.5        | <b>Beispiele für Warnelemente</b>                              | <b>679</b> |
| 37.5.1      | Warnelemente für die Längsführung                              | 679        |
| 37.5.2      | Warnelemente der Querführung                                   | 680        |
| 37.6        | <b>Voreinteilung von Warnelementen</b>                         | <b>681</b> |
|             | Literatur  | 684        |
| <b>38</b>   | <b>Fahrerzustandserkennung</b>                                 | <b>687</b> |
|             | <i>Ingmar Langer, Bettina Abendroth, Ralph Bruder</i>          |            |
| 38.1        | <b>Einleitung und Motivation</b>                               | <b>688</b> |
| 38.1.1      | Definition des Begriffs „Fahrerzustand“                        | <b>688</b> |
| 38.1.2      | Einfluss eines kritischen Fahrerzustands auf das Unfallrisiko  | 688        |
| 38.1.3      | Potenziale und Herausforderungen einer Fahrerzustandserkennung | 688        |
| 38.2        | <b>Unaufmerksamkeitserkennung</b>                              | <b>689</b> |
| 38.2.1      | Definition von Aufmerksamkeit                                  | 689        |
| 38.2.2      | Messgrößen und Messverfahren zur Unaufmerksamkeitserkennung    | 690        |
| 38.2.3      | Anwendungsfälle einer Unaufmerksamkeitserkennung               | 691        |

|             |  |      |
|-------------|--|------|
| 38.3        | <b>Müdigkeitserkennung</b>   | ,691 |
| 38.3.1      | Definition von Müdigkeit bzw. Ermüdung                             | ,691 |
| 38.3.2      | Messgrößen und Messverfahren zur Müdigkeitserkennung               | 692  |
| 38.4        | <b>Erkennung medizinischer Notfälle</b>                            | ,694 |
| 38.4.1      | Messgrößen und Messverfahren zur Erkennung medizinischer Notfälle. | 694  |
| 38.4.2      | Anwendungsfall „Nothalteassistent“                                 | ,696 |
| 38.5        | <b>Marktverfügbare Systeme zur Fahrerzustandsüberwachung</b>       | 696  |
| 38.6        | <b>Falsch- und Fehlalarmierung bei der Zustandserkennung</b>       | ,698 |
|             | Literatur  | ,698 |
| <b>39</b>   | <b>Fahrerabsichtserkennung und Risikobewertung</b>                 | ,701 |
|             | <i>Martin Liebner, Felix Klanner</i>                               |      |
| 39.1        | <b>Problemstellung</b>   | ,702 |
| 39.1.1      | Fahrerabsichtserkennung  | ,703 |
| 39.1.2      | Berücksichtigung des Situationsbewusstseins                        | ,704 |
| 39.2        | <b>Einordnung bestehender Arbeiten</b>                             | ,704 |
| 39.3        | <b>Rein prädiktive Verfahren</b>                                   | ,705 |
| 39.3.1      | Bewegungsmodelle   | ,705 |
| 39.3.2      | Kollisionserkennung  | 705  |
| 39.3.3      | Umgang mit Unsicherheiten  | 706  |
| 39.4        | <b>Wissensbasierte Verfahren</b>                                   | ,706 |
| 39.5        | <b>Risikobewertung auf Basis der Fahrerabsicht</b>                 | ,708 |
| 39.5.1      | Fahrerabsichtserkennung mit diskriminativen Methoden               | ,708 |
| 39.5.2      | Fahrerabsichtserkennung mit generativen Methoden                   | ,710 |
| 39.5.3      | Risikobewertung auf Basis der Fahrerabsicht                        | ,712 |
| 39.6        | <b>Berücksichtigung des Situationsbewusstseins</b>                 | 713  |
| 39.6.1      | Vermeidung unnötiger Warnungen                                     | ,713 |
| 39.6.2      | Detektion nicht sichtbarer Verkehrsteilnehmer                      | ,714 |
| 39.6.3      | Verbesserung der Fahrerabsichtserkennung                           | ,715 |
| 39.6.4      | Vorhersage des weiteren Verkehrsgeschehens                         | ,715 |
| 39.7        | <b>Zusammenfassung und Ausblick</b>                                | ,716 |
|             | Literatur  | ,717 |
| <b>VIII</b> | <b>Fahrerassistenz auf Stabilisierungsebene</b>                    |      |
| <b>40</b>   | <b>Bremsenbasierte Assistenzfunktionen</b>                         | ,723 |
|             | <i>Anton van Zanten, Friedrich Kost</i>                            |      |
| 40.1        | <b>Einleitung</b>  | ,724 |
| 40.2        | <b>Grundlagen der Fahrdynamik</b>                                  | ,724 |
| 40.2.1      | Stationäres und instationäres Reifen- und Fahrverhalten            | ,724 |
| 40.2.2      | Kenngrößen der Fahrdynamik   | ,726 |
| 40.3        | <b>ABS, ASR und MSR</b>  | ,727 |
| 40.3.1      | Regelkonzepte  | ,727 |
| 40.4        | <b>ESP</b>   | ,730 |
| 40.4.1      | Anforderungen  | ,730 |
| 40.4.2      | Eingesetzte Sensoren   | ,730 |

|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| 40.4.3      | Regelkonzept des ESP   | 730        |
| 40.4.4      | Sollwertbildung und Schätzung fahrdynamischer Größen                             | 735        |
| 40.4.5      | Sicherheitskonzept   | 737        |
| <b>40.5</b> | <b>Mehrwertfunktionen</b>  | <b>740</b> |
| 40.5.1      | Special Stability Support  | 740        |
| 40.5.2      | Special TorqueControl  | 744        |
| 40.5.3      | Brake & Boost Assist   | 745        |
| 40.5.4      | Standstill & Speed Control   | 749        |
| 40.5.5      | Advanced Driver Assistance System Support  | 751        |
| 40.5.6      | Monitoring & Information   | 752        |
| <b>40.6</b> | <b>Ausblick</b>  | <b>753</b> |
|             | Literatur  | 753        |
| <br>        |  |            |
| <b>41</b>   | <b>Fahrdynamikregelung mit Brems- und Lenkeingriff</b>                           | <b>755</b> |
|             | <i>Thomas Raste</i>  |            |
| <b>41.1</b> | <b>Einleitung</b>  | <b>756</b> |
| <b>41.2</b> | <b>Anforderungen an die Zusatzfunktion Stabilisierung mit Bremse und Lenkung</b> | <b>756</b> |
| <b>41.3</b> | <b>Konzept und Wirkprinzip der Brems- und Lenkregelung</b>                       | <b>758</b> |
| <b>41.4</b> | <b>Funktionsmodule zum Lenkwinkelgriff</b>                                       | <b>760</b> |
| <b>41.5</b> | <b>Funktionsmodule zur Fahrerlenkempfehlung</b>                                  | <b>761</b> |
| <b>41.6</b> | <b>Spezifische Entwicklungs Herausforderungen und zukünftige Entwicklungen</b>   | <b>763</b> |
|             | Literatur  | 765        |
| <br>        |  |            |
| <b>42</b>   | <b>Fahrdynamikregelsysteme für Motorräder</b>                                    | <b>767</b> |
|             | <i>Kai Schröter, Raphael Pleß, Patrick Seiniger</i>                              |            |
| <b>42.1</b> | <b>Fahrstabilität</b>  | <b>768</b> |
| <b>42.2</b> | <b>Bremsstabilität</b>   | <b>771</b> |
| <b>42.3</b> | <b>Für Fahrdynamikregelungen relevantes Unfallgeschehen von Motorrädern</b>      | <b>773</b> |
| <b>42.4</b> | <b>Stand der Technik der Bremsregelsysteme</b>                                   | <b>774</b> |
| 42.4.1      | Hydraulische ABS-Bremsanlagen  | 775        |
| 42.4.2      | Elektrohydraulische Integralbremsanlagen   | 776        |
| 42.4.3      | Zusatzfunktionen   | 779        |
| <b>42.5</b> | <b>Stand der Technik der Antriebsschlupfregelungssysteme</b>                     | <b>782</b> |
| <b>42.6</b> | <b>Stand der Technik der Fahrwerkregelsysteme</b>                                | <b>785</b> |
| <b>42.7</b> | <b>Zukünftige Fahrdynamikregelungen</b>  | <b>786</b> |
| 42.7.1      | Einflussmöglichkeiten auf gebremste Kurvenunfälle                                | 786        |
| 42.7.2      | Einflussmöglichkeiten auf ungebremste Kurvenunfälle                              | 790        |
|             | Literatur  | 793        |
| <br>        |  |            |
| <b>43</b>   | <b>Stabilisierungsassistentenfunktionen im Nutzfahrzeug</b>                      | <b>795</b> |
|             | <i>Falk Hecker</i>   |            |
| <b>43.1</b> | <b>Einleitung</b>  | <b>796</b> |
| <b>43.2</b> | <b>Spezifika von ABS, ASR und MSR für Nutzfahrzeuge im Vergleich zum Pkw</b>     | <b>796</b> |
| 43.2.1      | Nkw-spezifische Besonderheiten   | 796        |
| 43.2.2      | Regelungsziele und -Prioritäten  | 798        |
| 43.2.3      | Systemaufbau, Steller  | 801        |
| 43.2.4      | Sonderfunktionen für Nkw   | 803        |

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| <b>43.3</b> | <b>Spezifika der Fahrdynamikregelung für Nutzfahrzeuge im Vergleich zum Pkw</b> | <b>805</b> |
| 43.3.1      | Nkw-spezifische Besonderheiten  | 805        |
| 43.3.2      | Regelungsziele und -Prioritäten   | 805        |
| 43.3.3      | Fahrdynamikregelung für Gliederzüge   | 808        |
| 43.3.4      | Systemarchitektur   | 809        |
| 43.3.5      | Sonderfunktionen für Nkw  | 810        |
| <b>43.4</b> | <b>Ausblick</b>   | <b>811</b> |
| 43.4.1      | Fahrdynamikregelung für Allradfahrzeuge   | 811        |
| 43.4.2      | Weitergehende Adaptionalgorithmen in der Fahrdynamikregelung                    | 811        |
| 43.4.3      | Nutzung weiterer Steller  | 812        |
|             | Literatur   | 812        |

## **IX Fahrerassistenz auf Bahnführungs- und Navigationsebene**

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| <b>44</b> | <b>Sichtverbesserungssysteme</b>   | <b>815</b> |
|           | <i>Tran Quoc Khanh, Wolfgang Huhn</i>  |            |
| 44.1      | <b>Häufigkeit von Verkehrsunfällen bei Nacht oder ungünstigen Witterungsverhältnissen</b>  | 816        |
| 44.2      | <b>Lichttechnische und fahrzeugtechnische Konsequenzen für Sichtverbesserungssysteme</b>   | 819        |
| 44.3      | <b>Derzeitige und zukünftige Scheinwerfersysteme zur Sichtverbesserung</b>   | 822        |
| 44.3.1    | Sichtverbesserungssysteme auf der Basis der Lichtquellenentwicklung  | 822        |
| 44.3.2    | Sichtverbesserungssysteme auf der Basis der adaptiven Lichtverteilung  | 824        |
| 44.3.3    | Sichtverbesserungssysteme auf der Basis der assistierenden Lichtverteilung   | 829        |
| 44.4      | <b>Nachtsichtsysteme</b>   | 832        |
| 44.4.1    | Sensorik für Nachtsichtsysteme im Kraftfahrzeug  | 833        |
| 44.4.2    | Anzeigen für Nachtsichtsysteme im Kraftfahrzeug  | 835        |
| 44.4.3    | Bildverarbeitung   | 837        |
| 44.4.4    | Vergleich der Systemansätze  | 838        |
|           | Literatur  | 838        |
| <b>45</b> | <b>Einparkassistentz</b>   | <b>841</b> |
|           | <i>Reiner Katzwinkel, Stefan Brosig, Frank Schrovén, Richard Auer, Michael Rohlf, Gerald Eckert, Ulrich Wuttke, Frank Schwitters</i> |            |
| 45.1      | <b>Abstufungen der Einparkassistentz</b>   | 842        |
| 45.2      | <b>Anforderungen an Einparkassistentzsysteme</b>   | 842        |
| 45.3      | <b>Technische Realisierungen</b>   | 843        |
| 45.3.1    | Informierende Einparkassistentzsysteme   | 843        |
| 45.3.2    | Geführte Einparkassistentz   | 844        |
| 45.3.3    | Semiautomatisches Einparken  | 847        |
| 45.4      | <b>Ausblick</b>  | 849        |
|           | Literatur  | 849        |

|                |   |            |
|----------------|---|------------|
| <b>46</b>      | <b>Adaptive Cruise Control</b>                                  | <b>851</b> |
|                | <i>Hermann Winner, Michael Schopper</i>                         |            |
| <b>46.1</b>    | <b>Einleitung</b>   | <b>852</b> |
| <b>46.2</b>    | <b>Rückblick auf die Entwicklung von ACC</b>                    | <b>852</b> |
| <b>46.3</b>    | <b>Anforderungen</b>  | <b>854</b> |
| 46.3.1         | Funktionsanforderungen für Standard-ACC nach ISO 15622          | 854        |
| 46.3.2         | Zusätzliche Funktionsanforderungen für FSR-ACC nach ISO 22179   | 855        |
| <b>46.4</b>    | <b>Systemstruktur</b>   | <b>855</b> |
| 46.4.1         | Beispiel Mercedes-Benz Distronic                                | 856        |
| 46.4.2         | Funktionsabstufungen  | 856        |
| <b>46.5</b>    | <b>ACC-Zustandsmanagement und Mensch-Maschine-Schnittstelle</b> | <b>857</b> |
| 46.5.1         | Systemzustände und Zustandsübergänge                            | 857        |
| 46.5.2         | Bedienelemente mit Ausführungsbeispielen                        | 858        |
| 46.5.3         | Anzeigeelemente mit Ausführungsbeispielen                       | 860        |
| <b>46.6</b>    | <b>Zielobjekterkennung für ACC</b>                              | <b>861</b> |
| 46.6.1         | Anforderungen an die Umfeldsensorik                             | 861        |
| 46.6.2         | Messbereiche und Messgenauigkeit                                | 862        |
| <b>46.7</b>    | <b>Zielauswahl</b>  | <b>867</b> |
| 46.7.1         | Bestimmung der Kurskrümmung                                     | 867        |
| 46.7.2         | Kursprädiktion  | 868        |
| 46.7.3         | Fahrschlauch  | 869        |
| 46.7.4         | Weitere Kriterien für die Zielauswahl                           | 871        |
| 46.7.5         | Grenzen der Zielauswahl   | 872        |
| <b>46.8</b>    | <b>Folgeregelung</b>  | <b>872</b> |
| <b>46.9</b>    | <b>Zielverluststrategien und Kurvenregelung</b>                 | <b>875</b> |
| 46.9.1         | Annäherungsstrategien   | 876        |
| 46.9.2         | Überholunterstützung  | 877        |
| 46.9.3         | Reaktion auf stehende Ziele                                     | 877        |
| 46.9.4         | Anhalteregeleung, Spezifika der Low-Speed-Regelung              | 878        |
| <b>46.10</b>   | <b>Längsregelung und Aktorik</b>                                | <b>878</b> |
| 46.10.1        | Grundstruktur und Koordination Aktorik                          | 878        |
| 46.10.2        | Bremse  | 879        |
| 46.10.3        | Antrieb   | 881        |
| <b>46.11</b>   | <b>Nutzungs- und Sicherheitsphilosophie</b>                     | <b>883</b> |
| 46.11.1        | Nachvollziehbarkeit der Funktion                                | 883        |
| 46.11.2        | Systemgrenzen   | 884        |
| <b>46.12</b>   | <b>Sicherheitskonzept</b>                                       | <b>884</b> |
| <b>46.13</b>   | <b>Nutzer- und Akzeptanzstudien</b>                             | <b>885</b> |
| 46.13.1        | Akzeptanz   | 885        |
| <b>46.13.2</b> | <b>Nutzung</b>  | <b>886</b> |
| 46.13.3        | Kompensationsverhalten  | 886        |
| 46.13.4        | Habituationseffekte   | 887        |
| 46.13.5        | Übernahmesituationen  | 888        |
| 46.13.6        | Komfortbeurteilung  | 888        |
| 46.13.7        | Wirksamkeitsanalysen  | 889        |
| <b>46.14</b>   | <b>Ausblick</b>   | <b>889</b> |
| 46.14.1        | Aktuelle Entwicklungen  | 889        |
| 46.14.2        | Funktionserweiterungen  | 889        |
|                | Literatur   | 890        |

|           |  |             |
|-----------|--|-------------|
| <b>47</b> | <b>Grundlagen von Frontkollisionsschutzsystemen</b>  | <b>.893</b> |
|           | <i>Hermann Winner</i>  |             |
| 47.1      | <b>Problemstellung</b>   | <b>.894</b> |
| 47.2      | <b>Unfallschutz durch präventive Assistenz</b>   | <b>.894</b> |
| 47.3      | <b>Reaktionsunterstützung</b>  | <b>.895</b> |
| 47.4      | <b>Notmanöver</b>  | <b>.896</b> |
| 47.5      | <b>Bremsassistenz</b>  | <b>.896</b> |
| 47.5.1    | Basisfunktion  | .896        |
| 47.5.2    | Weiterentwicklungen  | .897        |
| 47.6      | <b>Warn- und Eingriffszeitpunkte</b>   | <b>.898</b> |
| 47.6.1    | Fahrdynamische Betrachtungen   | .899        |
| 47.6.2    | Frontkollisionsgegenmaßnahmen  | .906        |
| 47.6.3    | Nutzenpotenzial für Kollisionsgegenmaßnahmen   | .908        |
| 47.6.4    | Anforderungen an die Umfelderkennung   | .910        |
| 47.7      | <b>Ausblick</b>  | <b>.911</b> |
|           | Literatur  | .912        |
| <br>      |  |             |
| <b>48</b> | <b>Entwicklungsprozess von Kollisionsschutzsystemen für Frontkollisionen: Systeme zur Warnung, zur Unfallschwereminderung und zur Verhinderung<sup>1</sup></b> | <b>.913</b> |
|           | <i>Andreas Reschka, Jens Rieken, Markus Maurer</i>   |             |
| 48.1      | <b>Einführung</b>  | <b>.914</b> |
| 48.1.1    | Bedeutung und frühe Forschungsansätze  | .914        |
| 48.1.2    | Definitionen und Abkürzungen   | .914        |
| 48.2      | <b>Maschinelle Wahrnehmung der Umgebung für Frontkollisionswarnung und -Verhinderung</b>   | <b>.915</b> |
| 48.3      | <b>Thematische Eingrenzung und Abgrenzung zu anderen Systemen und Kapiteln</b>   | <b>.917</b> |
| 48.4      | <b>Aktuelle Systemausprägungen</b>   | <b>.918</b> |
| 48.4.1    | Das CU-Kriterium   | .919        |
| 48.4.2    | Grundsätze der Fahrerwarnung   | .920        |
| 48.4.3    | Abgestufte Unterstützung im Gefahrenfall   | .921        |
| 48.5      | <b>Abstufung am Beispiel einer aktuellen Realisierung</b>  | <b>.923</b> |
| 48.6      | <b>Systemarchitektur</b>   | <b>.924</b> |
| 48.6.1    | Funktionale Systemarchitektur  | .925        |
| 48.7      | <b>Entwicklungsprozess</b>   | <b>.926</b> |
| 48.7.1    | Systematische Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen  | .926        |
| 48.7.2    | Beispiel: Systematische Entwicklung einer automatischen Notbremsfunktion   | .928        |
| 48.8      | <b>Zusammenfassung</b>   | <b>.933</b> |
|           | Literatur  | .933        |
| <br>      |  |             |
| <b>49</b> | <b>Querführungsassistenz</b>   | <b>.937</b> |
|           | <i>Arne Bartels, Michael Rohlf, Sebastian Hamel, Falko Saust, Lars Kristian Klauske</i>  |             |
| 49.1      | <b>Motivation</b>  | <b>.938</b> |
| 49.2      | <b>Anforderungen</b>   | <b>.938</b> |
| 49.3      | <b>Klassifikation</b>  | <b>.939</b> |
| 49.4      | <b>Vorschriften, Normen und Prüfungen</b>  | <b>.939</b> |
| 49.5      | <b>Systemkomponenten</b>   | <b>.941</b> |
| 49.5.1    | Umfeldsensorik   | .941        |
| 49.5.2    | Signalverarbeitung   | .942        |

|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| 49.5.3      | Funktionsmodul LDW/LKA   | 943        |
| 49.5.4      | Fahrerinformation  | 947        |
| 49.5.5      | Aktoren  | 949        |
| 49.5.6      | Statusanzeige und Bedienelemente                               | 950        |
| <b>49.6</b> | <b>Beispielhafte Umsetzungen</b>                               | <b>950</b> |
| 49.6.1      | „Lane Departure Warning“ von Volvo                             | 951        |
| 49.6.2      | „AFIL“ von Citroen   | 952        |
| 49.6.3      | „Aktiver Spurhalte-Assistent“ von Mercedes-Benz                | 952        |
| 49.6.4      | „Lane Assist“ von VW   | 953        |
| <b>49.7</b> | <b>Systembewertung</b>   | <b>954</b> |
| <b>49.8</b> | <b>Erreichte Leistungsfähigkeit</b>                            | <b>955</b> |
| <b>49.9</b> | <b>Ausblick</b>  | <b>955</b> |
|             | Literatur  | 956        |
| <br>        |  |            |
| <b>50</b>   | <b>Fahrstreifenwechselassistent</b>                            | <b>959</b> |
|             | <i>Arne Bartels, Marc-Michael Meinecke, Simon Steinmeyer</i>   |            |
| <b>50.1</b> | <b>Motivation</b>  | <b>960</b> |
| <b>50.2</b> | <b>Anforderungen</b>   | <b>960</b> |
| <b>50.3</b> | <b>Klassifikation der Systemfunktionalität</b>                 | <b>962</b> |
| 50.3.1      | Klassifikation nach Leistung der Umfelderkennung               | 962        |
| 50.3.2      | Systemzustandsdiagramm   | 963        |
| <b>50.4</b> | <b>Beispielhafte Umsetzungen</b>                               | <b>963</b> |
| 50.4.1      | „Toter Winkel Assistent“ von Citroen                           | 965        |
| 50.4.2      | „Blind Spot Information System“ (BLIS) von Volvo               | 965        |
| 50.4.3      | „Blind Spot Information System“ von Ford                       | —966       |
| 50.4.4      | „Aktiver Totwinkel-Assistent“ von Mercedes Benz                | 967        |
| 50.4.5      | „Audi Side Assist“/„Side Assist“, von VW                       | 968        |
| 50.4.6      | „Side Assist Plus“ von VW                                      | 969        |
| 50.4.7      | Nutzfahrzeuge  | 969        |
| <b>50.5</b> | <b>Systembewertung</b>   | <b>971</b> |
| <b>50.6</b> | <b>Erreichte Leistungsfähigkeit</b>                            | <b>972</b> |
| <b>50.7</b> | <b>Weiterentwicklungen</b>                                     | <b>973</b> |
|             | Literatur  | 973        |
| <br>        |  |            |
| <b>51</b>   | <b>Kreuzungsassistent</b>                                      | <b>975</b> |
|             | <i>Mark Mages, Alexander Stoff, Felix Klanner</i>              |            |
| <b>51.1</b> | <b>Unfallgeschehen an Kreuzungen</b>                           | <b>976</b> |
| <b>51.2</b> | <b>Kreuzungsassistentensysteme</b>                             | <b>976</b> |
| 51.2.1      | STOP-Schild-Assistent  | 976        |
| 51.2.2      | Ampelassistent   | 978        |
| 51.2.3      | Einbiege-/Kreuzenassistent                                     | 980        |
| 51.2.4      | Linksabbiegeassistent  | 981        |
| 51.2.5      | Kreuzungsassistent für vorfahrtberechtigte Verkehrsteilnehmer  | 983        |
| <b>51.3</b> | <b>Situationsbewertung</b>                                     | <b>984</b> |
| <b>51.4</b> | <b>Geeignete Warn- und Eingriffsstrategien</b>                 | <b>986</b> |
| 51.4.1      | Assistenzmaßnahmen für den wartepflichtigen Verkehrsteilnehmer | 986        |
| 51.4.2      | Kreuzungsassistent für vorfahrtberechtigten Verkehrsteilnehmer | 988        |

|           |   |       |
|-----------|---|-------|
| 51.5      | <b>Herausforderungen bei der Umsetzung</b>                              | .990  |
|           | Literatur   | .993  |
| <b>52</b> | <b>Stauassistent und -automation</b>                                    | .995  |
|           | <i>Stefan Lüke, Oliver Fochler, Thomas Schaller, Uwe Regensburger</i>   |       |
| 52.1      | <b>Einleitung</b>   | .996  |
| 52.1.1    | Motivation  | .996  |
| 52.1.2    | Nutzerakzeptanz   | .996  |
| 52.1.3    | Begriffsdefinitionen  | .996  |
| 52.2      | <b>Umfeldinformationen</b>  | .997  |
| 52.3      | <b>Ausprägungsstufen</b>  | .998  |
| 52.3.1    | Stop-and-go-Assistent mit reiner Längsregelung                          | .998  |
| 52.3.2    | Stauassistent (Fahrzeugfolge- und Fahrstreifenhalteassistent)           | .999  |
| 52.3.3    | Fahrstreifenfolgeautomat bis Grenzgeschwindigkeit                       | .999  |
| 52.4      | <b>Interaktion von Fahrer und System</b>                                | .1001 |
| 52.4.1    | Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI)                                     | .1003 |
| 52.4.2    | Übergabe und Kontrollierbarkeit   | .1003 |
| 52.4.3    | Aspekte der marktfähigen Realisierbarkeit                               | .1004 |
| 52.5      | <b>Schlussbemerkungen</b>   | .1005 |
|           | Literatur   | .1007 |
| <b>53</b> | <b>Bahnführungsassistent für Nutzfahrzeuge</b>                          | .1009 |
|           | <i>Karlheinz Dörnen, Walter Schwertberger, Eberhard Hipp</i>            |       |
| 53.1      | <b>Anforderungen an die Fahrer von Nutzfahrzeugen</b>                   | .1010 |
| 53.2      | <b>Wesentliche Unterschiede zwischen Lkw und Pkw</b>                    | .1012 |
| 53.3      | <b>Unfallszenarien</b>  | .1014 |
| 53.4      | <b>Adaptive Cruise Control (ACC) für Nutzfahrzeuge</b>                  | .1017 |
| 53.5      | <b>Spurverlassenswarner für Nutzfahrzeuge</b>                           | .1020 |
| 53.6      | <b>Notbremssysteme</b>  | .1024 |
| 53.7      | <b>Vorausschauendes Fahren</b>  | .1025 |
| 53.8      | <b>Entwicklung für die Zukunft</b>                                      | .1026 |
|           | Literatur   | .1027 |
| <b>54</b> | <b>Fahrerassistenzsysteme bei Traktoren</b>                             | .1029 |
|           | <i>Marco Reinards, Georg Kormann, Udo Scheff</i>                        |       |
| 54.1      | <b>Fahrdynamische Assistenzsysteme</b>                                  | .1030 |
| 54.2      | <b>Prozess-Assistenzsysteme</b>   | .1034 |
| 54.2.1    | Traktor-Anbaugerät-Systemautomatisierung                                | .1034 |
| 54.2.2    | Systemarchitektur   | .1035 |
| 54.2.3    | Traktor-Rundballenpresse-Automatisierung                                | .1035 |
| 54.3      | <b>Automatisierung von Lenkfunktionen</b>                               | .1037 |
| 54.3.1    | Lenkassistenten für landwirtschaftliche Fahrzeuge                       | .1038 |
| 54.3.2    | Lenkassistenten für Anbaugeräte   | .1040 |
| 54.3.3    | Automatische Wendemanöver und Werkzeuganpassung                         | .1041 |
| 54.4      | <b>Kollaborierende Fahrzeuge</b>  | .1042 |
| 54.5      | <b>Ausblick auf vollautomatisierte Fahrzeuge in der Landwirtschaft.</b> | .1043 |
|           | Literatur   | .1044 |

|             |  |             |
|-------------|--|-------------|
| <b>55</b>   | <b>Navigation und Verkehrstelematik.</b>   | <b>1047</b> |
|             | <i>Thomas Kleine-Besten, Ulrich Kersken, Werner Pöchmüller,<br/>Heiner Schepers, Torsten Mlasko, Ralph Behrens, Andreas Engelsberg</i> |             |
| <b>55.1</b> | <b>Historie</b>  | <b>1048</b> |
| <b>55.2</b> | <b>Navigation im Fahrzeug</b>  | <b>1049</b> |
| 55.2.1      | Ortung   | 1050        |
| 55.2.2      | Zieleingabe  | 1053        |
| 55.2.3      | Routensuche  | 1054        |
| 55.2.4      | Algorithmen der Routensuche  | 1054        |
| 55.2.5      | Zielführung  | 1057        |
| 55.2.6      | Kartendarstellung  | 1058        |
| 55.2.7      | Dynamisierung  | 1059        |
| 55.2.8      | Korridor und Datenabstraktion (Datenträger)  | 1060        |
| <b>55.3</b> | <b>Offboard-Navigation</b>   | <b>1061</b> |
| <b>55.4</b> | <b>Hybrid-Navigation</b>   | <b>1061</b> |
| 55.4.1      | Kartendaten – aktuell und individuell  | 1062        |
| <b>55.5</b> | <b>Assistenzfunktionen</b>   | <b>1063</b> |
| <b>55.6</b> | <b>Elektronischer Horizont</b>   | <b>1065</b> |
| <b>55.7</b> | <b>Verkehrstelematik</b>   | <b>1066</b> |
| 55.7.1      | Rundfunk-basierte Technologien   | 1067        |
| 55.7.2      | Mobilfunk-basierte Technologien  | 1068        |
| 55.7.3      | Telematik – Basisdienste   | 1069        |
| 55.7.4      | Car-to-Car-Kommunikation, Car-to-Infrastructure-Kommunikation  | 1070        |
| 55.7.5      | Mautsysteme  | 1071        |
| 55.7.6      | Moderne Verkehrssteuerung  | 1072        |
| 55.7.7      | Zukünftige Entwicklung von Telematikdiensten   | 1073        |
| <b>55.8</b> | <b>Smartphone-Anbindung im Automobil</b>   | <b>1073</b> |
| 55.8.1      | Motivation der Smartphone-Integration im Automobil   | 1073        |
| 55.8.2      | Möglichkeiten der Smartphone-Integration   | 1074        |
| 55.8.3      | Semi-integrierter Ansatz   | 1074        |
| 55.8.4      | Vollintegrierter Ansatz  | 1074        |
| <b>55.9</b> | <b>Aspekte des Mobilfunks für Navigation und Telematik</b>   | <b>1075</b> |
| 55.9.1      | Consumer-Elektronik(CE) versus Automobil-Elektronik (AE)   | 1076        |
| 55.9.2      | Aufbau des Navigationssystems  | 1076        |
| 55.9.3      | Entwicklungsprozess  | 1078        |
|             | Literatur  | 1079        |

## **X Zukunft der Fahrerassistenzsysteme**

|             |   |             |
|-------------|---|-------------|
| <b>56</b>   | <b>Integrationskonzepte der Zukunft</b> | <b>1083</b> |
|             | <i>Peter E. Rieth, Thomas Raste</i>     |             |
| <b>56.1</b> | <b>Einleitung</b>                       | <b>1084</b> |
| <b>56.2</b> | <b>Bauliche Integration</b>             | <b>1084</b> |
| <b>56.3</b> | <b>Funktionale Integration</b>          | <b>1086</b> |

|             |   |             |
|-------------|---|-------------|
| <b>56.4</b> | <b>Oomänenarchitektur</b>   | <b>1087</b> |
| 56.4.1      | Konzepte zur Standardisierung der Architektur   | 1087        |
| 56.4.2      | Konzepte zur Standardisierung der Schnittstellen  | 1089        |
| 56.4.3      | Konzepte zur Standardisierung der Integration   | 1089        |
| <b>56.5</b> | <b>Regelung der Fahrzeugbewegung (Motion Control)</b>   | <b>1090</b> |
|             | Literatur   | 1092        |
| <b>57</b>   | <b>Antikollisionssystem PRORETA – Integrierte Lösung zur Vermeidung von Überholunfällen</b>                                 | <b>1093</b> |
|             | <i>Rolf Isermann, Andree Hohm, Roman Mannale, Bernt Schiele, Ken Schmitt, Hermann Winner, Christian Wojek</i>               |             |
| <b>57.1</b> | <b>Einleitung</b>   | <b>1094</b> |
| <b>57.2</b> | <b>Videobasierte Gesamtszenensegmentierung zur Bestimmung des Manöverraums . . .</b>  | <b>1094</b> |
| <b>57.3</b> | <b>Sensorfusion von Radar und Videosignalen</b>   | <b>1095</b> |
| <b>57.4</b> | <b>Situationsanalyse für Überholvorgänge</b>  | <b>1097</b> |
| <b>57.5</b> | <b>Realisierung von Warnungen und aktiven Eingriffen</b>  | <b>1098</b> |
| <b>57.6</b> | <b>Ergebnisse von Fahrversuchen</b>   | <b>1099</b> |
| <b>57.7</b> | <b>Zusammenfassung</b>  | <b>1099</b> |
| <b>57.8</b> | <b>Schlussbemerkung</b>   | <b>1100</b> |
|             | Literatur   | 1100        |
| <b>58</b>   | <b>Kooperative Fahrzeugführung</b>  | <b>1103</b> |
|             | <i>Frank Flemisch, Hermann Winner, Ralph Bruder, Klaus Bengier</i>  |             |
| <b>58.1</b> | <b>Einführung</b>   | <b>1104</b> |
| <b>58.2</b> | <b>Kooperation und Fahrzeugführung</b>  | <b>1105</b> |
| <b>58.3</b> | <b>Kooperative Führung als Komplexbegriff bzw. Cluster-Konzept</b>  | <b>1106</b> |
| <b>58.4</b> | <b>Gestaltungsraum der kooperativen Fahrzeugführung</b>   | <b>1106</b> |
| <b>58.5</b> | <b>Parallele und serielle Aspekte der kooperativen Fahrzeugführung</b>  | <b>1107</b> |
| <b>58.6</b> | <b>Zusammenhänge von Fähigkeiten, Autorität, Autonomie, Kontrolle und Verantwortung in der kooperativen Fahrzeugführung</b> | <b>1108</b> |
| <b>58.7</b> | <b>Ausblick: Vertikale und horizontale, zentrale und dezentrale Aspekte der kooperativen Fahrzeugführung</b>                | <b>1109</b> |
|             | Literatur   | 1109        |
| <b>59</b>   | <b>Conduct-by-Wire</b>  | <b>1111</b> |
|             | <i>Benjamin Franz, Michaela Kauer, Sebastian Geyer, Stephan Hakuli</i>  |             |
| <b>59.1</b> | <b>Einleitung</b>   | <b>1112</b> |
| <b>59.2</b> | <b>Aufgabenteilung zwischen Fahrer und Fahrzeug</b>   | <b>1112</b> |
| <b>59.3</b> | <b>Manöver und Fahrfunktionen</b>   | <b>1113</b> |
| 59.3.1      | Entwicklung und Evaluation der Fahrfunktionen   | 1114        |
| 59.3.2      | Entwicklung und Evaluation der Manöverschnittstelle   | 1117        |
| <b>59.4</b> | <b>Fazit und Ausblick</b>   | <b>1120</b> |
|             | Literatur   | 1121        |