

# 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>	
1.1	<b>Menschlicher Informationsverarbeitungsprozess</b> .....	<b>4</b>
1.1.1	Informationsaufnahme .....	5
1.1.2	Informationsverarbeitung .....	7
1.1.3	Informationsabgabe .....	8
1.2	<b>Fahrercharakteristik und die Grenzen menschlicher Leistungsfähigkeit</b> .....	<b>8</b>
1.3	<b>Anforderungen an den Fahrzeugführer im System Fahrer-Fahrzeug-Umgebung</b> .....	<b>11</b>
1.4	<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 Donges</i>	
2.1	<b>Drei-Ebenen-Modell für zielgerichtete Tätigkeiten des Menschen nach Rasmussen, 1983</b> .....	<b>18</b>
2.2	<b>Drei-Ebenen-Hierarchie der Fahraufgabe nach Donges, 1982</b> .....	<b>19</b>
2.3	<b>Beispiel eines regelungstechnischen Modellansatzes für die Führungs- und Stabilisierungsebene der Fahraufgabe</b> .....	<b>20</b>
2.4	<b>Zeitkriterien</b> .....	<b>22</b>
2.5	<b>Neuer Ansatz zur Quantifizierung von fertigkeit-, regel- und wissensbasiertem Verhalten im Straßenverkehr</b> .....	<b>23</b>
2.6	<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>	
3.1	<b>Kategorisierung und Nomenklatur der Systeme</b> .....	<b>28</b>
3.2	<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
3.3	<b>Gesetzgebung in den USA</b> .....	<b>43</b>
3.4	<b>Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme vor dem Hintergrund von „Ratings“ und gesetzlichen Vorschriften</b> .....	<b>47</b>
3.4.1	Typgenehmigungsbestimmungen .....	47
3.4.2	Anforderungen durch Euro NCAP .....	48

3.4.3	Herstellerinterne Anforderungen .....	49
3.4.4	Beyond NCAP – Berücksichtigung von neuen Sicherheitsfunktionen im Verbraucherschutz .....	49
3.5	Fazit .....	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> .....	<b>55</b>
	<i>Matthias Kühn, Lars Hannawald</i>	
4.1	Unfallstatistik .....	56
4.1.1	Unfallgeschehen in Deutschland .....	56
4.1.2	Weitweites Unfallgeschehen .....	60
4.1.3	Unfallgeschehen nach Fahrzeugart .....	60
4.2	Sicherheitspotenzial von Fahrerassistenzsystemen .....	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 .....	68
4.2.5	Ausblick .....	69
	Literatur .....	70
<b>5</b>	<b>Verhaltenswissenschaftliche Aspekte von Fahrerassistenzsystemen</b> .....	<b>71</b>
	<i>Bernhard Schlag, Gert Weller</i>	
5.1	Visuelle und kognitive Beanspruchung .....	72
5.2	Situationsbewusstsein .....	74
5.3	Mentale Modelle .....	76
5.4	Verhaltensadaptation .....	77
5.5	Übernahmeproblematik .....	80
	Literatur .....	81
<b>6</b>	<b>Funktionale Sicherheit und ISO 26262</b> .....	<b>85</b>
	<i>Ulf Wilhelm, Susanne Ebel, Alexander Weitzel</i>	
6.1	Aufgaben der funktionalen Sicherheit .....	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 .....	86
6.1.4	Abgrenzung zur Behandlung von anderen Fehlerquellen .....	87
6.2	Sicherheitsanforderungen an Fahrerassistenzsysteme .....	88
6.2.1	Spezifikation von Sicherheitszielen .....	89
6.2.2	Spezifikation von Sicherheitsanforderungen .....	92
6.3	Erfüllung der Sicherheitsanforderungen .....	94
6.3.1	Rückverfolgbarkeit der Anforderungsebenen („Traceability“) .....	94
6.3.2	Verifikation .....	97
6.3.3	Validierung .....	98

6.4	<b>Grenzen der ISO 26262</b> .....	99
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
6.5	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b> .....	102
	Literatur .....	102
<b>7</b>	<b>AUTOSAR</b> .....	105
	<i>Simon Fürst, Stefan Bunzel</i>	
7.1	<b>Motivation für AUTOSAR</b> .....	106
7.2	<b>Organisation der Partnerschaft AUTOSAR</b> .....	106
7.3	<b>Die neun Projektziele von AUTOSAR</b> .....	107
7.4	<b>Die drei Bereiche der Standardisierung</b> .....	109
7.4.1	Softwarearchitektur .....	109
7.4.2	Entwurfsmethodik .....	110
7.4.3	Anwendungsschnittstellen .....	111
7.5	<b>Systemarchitektur – der virtuelle Funktionsbus (VFB)</b> .....	112
7.6	<b>Softwarearchitektur</b> .....	112
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> .....	116
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> .....	122
	Literatur .....	122

## **II Simulation für Entwicklung und Test von FAS / Virtuelle Entwicklungs- und Testumgebung für FAS**

<b>8</b>	<b>Virtuelle Integration</b> .....	125
	<i>Stephan Hakuli, Markus Krug</i>	
8.1	<b>Durchgängiges Testen und Bewerten im virtuellen Fahrversuch</b> .....	126
8.2	<b>Effiziente Zusammenarbeit zwischen Hersteller und Zulieferer mittels einer Integrations- und Testplattform</b> .....	127
8.3	<b>In-the-Loop-Methoden und virtuelle Integration im V-Modell</b> .....	128
8.4	<b>Virtuelle Integration im Entwicklungsprozess</b> .....	132
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> .....	136
8.5.1	Simulation von Umfeldsensorik .....	137
8.5.2	Simulation der Umwelt .....	137

8.6	<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> ..	143
9.2.1	Bewegungssystem .....	143
9.2.2	Fahrer-Umfeld .....	143
9.2.3	Bildsystem .....	144
9.2.4	Soundsystem .....	144
9.2.5	Modelle der Fahrdynamik und der Umgebung .....	145
9.2.6	Abbildung der Bewegung in den beschränkten Bewegungsraum .....	145
9.2.7	Kinetose (Simulatorkrankheit).....	146
9.2.8	Vorbereitungssimulatoren .....	146
9.3	<b>Versuchskonzeption</b> .....	146
9.3.1	Zielstellung von Probandenuntersuchungen.....	146
9.3.2	Versuchsdesign .....	147
9.3.3	Versuchsvorbereitung .....	149
9.3.4	Ablenkungen .....	150
9.3.5	Lerneffekte .....	151
9.3.6	Probandenauswahl.....	151
9.3.7	Auswertung von Probandenversuchen .....	152
9.4	<b>Problematik der Übertragbarkeit, der Realitätsnähe und des Gefahrenempfindens</b> ....	152
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> .....	155
	<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> .....	167
	<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
11.2	<b>Testverfahren für Gesetzgebung und Verbraucherschutz</b> .....	170
11.2.1	Anforderungen der Gesetzgebung .....	171
11.2.2	Anforderungen aus dem Verbraucherschutz .....	172
11.3	<b>Eigenschaften der Testwerkzeuge</b> .....	174
11.3.1	Pkw-repräsentierende Zielobjekte und Bewegungsvorrichtungen .....	174
11.3.2	Fußgänger-repräsentierende Zielobjekte und Bewegungsvorrichtungen .....	176
11.4	<b>Realitätsnähe und Testaufwand</b> .....	180
11.5	<b>Ausblick – was ist in EuroNCAP an Testverfahren zu erwarten?</b> .....	181
	Literatur .....	181
<b>12</b>	<b>Nutzerorientierte Bewertungsverfahren von Fahrerassistenzsystemen</b> .....	183
	<i>Jörg Breuer, Christoph von Hugo, Stephan Mücke, Simon Tattersall</i>	
12.1	<b>Zielsetzung der nutzerorientierten Bewertung</b> .....	184
12.2	<b>Versuchsdesign</b> .....	184
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
12.3	<b>Versuchsumgebung</b> .....	187
12.4	<b>Durchführung und Auswertung von Feldabsicherungen</b> .....	189
12.5	<b>Exemplarische Anwendungen</b> .....	190
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 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> .....	197
	<i>Norbert Fecher, Jens Hoffmann, Hermann Winner</i>	
13.1	<b>Das Dummy Target EVITA</b> .....	198
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
13.2	<b>Messkonzept im Versuchsfahrzeug</b> .....	200
13.3	<b>Gefährdungen von Versuchsteilnehmern</b> .....	200

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> .....	206
	Literatur.....	206
<b>14</b>	<b>Testen mit koordinierten automatisierten Fahrzeugen</b> .....	<b>207</b>
	<i>Hans-Peter Schöner, Wolfgang Hurich</i>	
14.1	<b>Motivation für den Einsatz koordinierter automatisierter Fahrzeuge</b> .....	208
14.2	<b>Anforderungen an Präzision und Reproduzierbarkeit</b> .....	209
14.3	<b>Technische Umsetzung</b> .....	210
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, mit getriggerten beziehungsweise synchronisierten Targets.....	217
14.7	<b>Zukünftige Entwicklungen</b> .....	218
	Literatur.....	218

## **IV Sensorik für Fahrerassistenzsysteme**

<b>15</b>	<b>Fahrdynamiksensoren für FAS</b> .....	<b>223</b>
	<i>Matthias Mörbe</i>	
15.1	<b>Einleitung</b> .....	224
15.2	<b>Allgemeine Auswahlkriterien</b> .....	224
15.2.1	Anforderungen Technikenebene.....	224
15.2.2	Kommerzielle Ebene.....	228
15.3	<b>Technische Sensorkenndaten 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

15.3.5	Bremsdrucksensoren .....	237
15.3.6	Bremspedalwegensensoren .....	239
	Literatur .....	240
<b>16</b>	<b>Ultraschallsensorik</b> .....	<b>243</b>
	<i>Martin Noll, Peter Rapps</i>	
16.1	Einleitung .....	244
16.2	Grundlagen der Ultraschallwandlung .....	244
16.2.1	Piezoelektrischer Effekt .....	244
16.2.2	Piezoelektrische Keramiken .....	244
16.3	Ultraschallwandler .....	246
16.3.1	Ersatzschaltbild .....	247
16.4	Ultraschallsensoren für das Kfz .....	248
16.4.1	Sensorbaugruppen .....	248
16.5	Antennen und Strahlgestaltung .....	250
16.5.1	Simulation .....	250
16.6	Entfernungsmessung .....	252
16.6.1	Trilateration und Objektllokalisierung .....	252
16.7	Halter- und Befestigungskonzepte .....	255
16.8	Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit .....	256
16.9	Zusammenfassung und Ausblick .....	257
	Literatur .....	258
<b>17</b>	<b>Radarsensorik</b> .....	<b>259</b>
	<i>Hermann Winner</i>	
17.1	Ausbreitung und Reflektion .....	260
17.2	Abstands- und Geschwindigkeitsmessung .....	263
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
17.3	Winkelmessung .....	279
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
17.4	Hauptparameter der Leistungsfähigkeit .....	288
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	Signalverarbeitung und Tracking .....	291
17.6	Einbau und Justage .....	294
17.7	Elektromagnetische Verträglichkeit .....	296

<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
<b>18</b>	<b>LIDAR-Sensorik</b> .....	<b>317</b>
	<i>Heinrich Gotzig, Georg Geduld</i>	
18.1	<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
18.2	<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
18.3	<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
18.4	<b>Aktuelle Serienbeispiele:</b> .....	<b>330</b>
18.5	<b>Ausblick</b> .....	<b>333</b>
	Literatur .....	334
<b>19</b>	<b>3D Time-of-Flight (ToF)</b> .....	<b>335</b>
	<i>Bernd Buxbaum, Robert Lange, Thorsten Ringbeck</i>	
19.1	<b>Einordnung und Erläuterung des Grundkonzeptes</b> .....	<b>336</b>
19.2	<b>Vorteile und Applikationen</b> .....	<b>336</b>
19.3	<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
19.4	<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
19.5	<b>Leistungsfähigkeit und Leistungsgrenzen des Gesamtsystems</b> .....	<b>344</b>
	Literatur .....	346

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

22.2	<b>Genauigkeit der Stereoanalyse</b> .....	403
22.2.1	Subpixelgenaue Schätzung .....	404
22.2.2	Effekte einer Dekalibrierung .....	405
22.3	<b>6D-Vision</b> .....	407
22.3.1	Das Prinzip .....	408
22.3.2	Dense6D .....	410
22.4	<b>Stixel-Welt</b> .....	412
22.4.1	Optimale Berechnung .....	412
22.4.2	Bildverstehen in der Stixel-Welt .....	415
22.5	<b>Zusammenfassung</b> .....	418
	Literatur .....	419
<b>23</b>	<b>Kamerabasierte Fußgängerdetektion</b> .....	421
	<i>Bernt Schiele, Christian Wojek</i>	
23.1	<b>Anforderungen</b> .....	422
23.2	<b>Mögliche Ansätze</b> .....	423
23.3	<b>Beschreibung des Funktionsprinzips</b> .....	424
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> .....	432
23.5	<b>Ausblick</b> .....	433
	Literatur .....	434

## V Datenfusion und Umfeldpräsentation

<b>24</b>	<b>Fusion umfelderfassender Sensoren</b> .....	439
	<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> .....	442
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> .....	446
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 – Prädierte 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>	
25.1	<b>Anforderungen an Fahrzeugumgebungsrepräsentationen</b> .....	<b>454</b>
25.2	<b>Objektbasierte Darstellungen</b> .....	<b>456</b>
25.2.1	Sensorspezifische Objektmodelle und Koordinatensysteme .....	<b>456</b>
25.2.2	Zustands- und Existenzunsicherheiten .....	<b>457</b>
25.2.3	Grundlegende Verfahren des Multi-Objekt-Trackings .....	<b>458</b>
25.2.4	Eigenlokalisierung und Einbeziehung von digitalen Karten .....	<b>466</b>
25.2.5	Zeitliche Aspekte .....	<b>467</b>
25.3	<b>Rasterbasierte Verfahren</b> .....	<b>467</b>
25.3.1	Konzept der Rasterkarten .....	<b>467</b>
25.3.2	Eigenbewegungsschätzung .....	<b>468</b>
25.3.3	Algorithmen zur Erzeugung von Belegungskarten .....	<b>469</b>
25.3.4	Behandlung von bewegten Objekten .....	<b>474</b>
25.3.5	Effiziente Speicherverwaltung .....	<b>475</b>
25.4	<b>Architekturen und hybride Darstellungsformen</b> .....	<b>475</b>
25.5	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>477</b>
	Literatur .....	<b>478</b>
<b>26</b>	<b>Datenfusion für die präzise Lokalisierung</b> .....	<b>481</b>
	<i>Nico Steinhardt, Stefan Leinen</i>	
26.1	<b>Anforderungen an eine Datenfusion</b> .....	<b>482</b>
26.2	<b>Grundlagen</b> .....	<b>483</b>
26.2.1	Koordinatensysteme .....	<b>483</b>
26.2.2	Lokalisierungssensoren und deren Eigenschaften .....	<b>484</b>
26.3	<b>Klassifizierung und Ontologien für Filter zur Sensordatenfusion</b> .....	<b>485</b>
26.3.1	Klassifizierung der Anbindung von Sensoren an das Filter .....	<b>486</b>
26.3.2	Klassifizierung der Schätzgrößen des Filters .....	<b>487</b>
26.3.3	Klassifizierung verschiedener Filtertypen .....	<b>489</b>
26.4	<b>Erweiterungen für Fusionsfilter</b> .....	<b>489</b>
26.4.1	Einbindung von Odometriemessungen .....	<b>489</b>
26.4.2	Kompensation von verzögerter Messwertverfügbarkeit .....	<b>490</b>
26.4.3	Plausibilisierung .....	<b>491</b>
26.5	<b>Datenqualitätsbeschreibung</b> .....	<b>494</b>
26.5.1	Integrität .....	<b>494</b>
26.5.2	Genauigkeit .....	<b>497</b>
26.6	<b>Beispiel einer Umsetzung</b> .....	<b>499</b>
26.6.1	Architektur .....	<b>499</b>
26.6.2	Bewegte Referenzsysteme/„Trägerplattform“ .....	<b>501</b>
26.6.3	Umsetzung Integritätsmaß .....	<b>503</b>
26.6.4	Genauigkeitsmaß .....	<b>505</b>
26.6.5	Exemplarische Ergebnisse .....	<b>507</b>
26.7	<b>Ausblick und Fazit</b> .....	<b>508</b>
	Literatur .....	<b>510</b>

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

28.6	<b>Ökonomische Bewertung und Einführungsszenarien</b> .....	537
28.6.1	Wirkung und Nutzen .....	537
28.6.2	Ökonomische Bewertung .....	538
28.6.3	Einführungsszenarien und Ausblick .....	538
	Literatur .....	539
<b>29</b>	<b>Backendsysteme zur Erweiterung der Wahrnehmungsreichweite von Fahrerassistenzsystemen</b> .....	<b>541</b>
	<i>Felix Klanner, Christian Ruhhammer</i>	
29.1	Aktuelle backendbasierte Fahrerassistenzsysteme .....	542
29.2	Was sind Backendsysteme? .....	542
29.2.1	Digitale Karten .....	542
29.2.2	Servertechnologien .....	542
29.2.3	Sendeeinheit im Fahrzeug .....	547
29.3	Eigenschaften der Datenübertragung .....	547
29.4	Nächste Generation backendbasierter Assistenzsysteme .....	549
29.5	Extraktion von fahrerassistenzsystemrelevanten Informationen aus Flottendaten im Backend .....	550
29.6	Zusammenfassung .....	551
	Literatur .....	552

## VI Aktorik für Fahrerassistenzsysteme

<b>30</b>	<b>Hydraulische Pkw-Bremssysteme</b> .....	<b>555</b>
	<i>James Remfrey, Steffen Gruber, Norbert Ocvirk</i>	
30.1	Standardarchitektur .....	556
30.1.1	Betätigung .....	556
30.1.2	Modulation .....	561
30.1.3	Radbremsen .....	563
30.2	Erweiterte Architekturen .....	564
30.2.1	Regeneratives Bremssystem RBS-SBA .....	565
30.2.2	Elektrohydraulische Bremse EHB .....	566
30.2.3	Integrale Bremssysteme .....	572
30.3	Dynamik hydraulischer Bremssysteme .....	573
	Literatur .....	576
<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>	
31.1	Das EHCB-System (Electric Hydraulic Combined Brake, Hybrid-Bremssystem) .....	580
31.1.1	Motivation .....	580
31.1.2	Systemarchitektur und Komponenten .....	580
31.1.3	Regelfunktionen .....	580
31.1.4	Hinterachs-Aktor .....	582
31.2	Die Elektrische Parkbremse (EPB) .....	582
31.2.1	Motivation .....	582
31.2.2	System und Komponenten .....	582

31.2.3	Systemarchitektur .....	583
31.2.4	Aktorik .....	585
31.2.5	Schnittstellen des Steuergeräts .....	586
31.2.6	Funktionen .....	587
31.3	<b>Fazit.</b> .....	589
	Literatur .....	589
<b>32</b>	<b>Lenkstellensysteme</b> .....	591
	<i>Gerd Reimann, Peter Brenner, Hendrik Büring</i>	
32.1	<b>Allgemeine Anforderungen an Lenksysteme</b> .....	592
32.2	<b>Basislösungen der Lenkunterstützung</b> .....	592
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
32.3	<b>Lösungen zur Überlagerung von Momenten</b> .....	599
32.3.1	Zusatzaktor für hydraulische Lenksysteme .....	599
32.3.2	Elektrische Lenksysteme .....	600
32.4	<b>Lösungen zur Überlagerung von Winkeln</b> .....	603
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
32.6	<b>Hinterachslenksysteme</b> .....	614
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> .....	621
	<i>Winfried König</i>	
33.1	<b>Übersicht.</b> .....	622
33.2	<b>Fragestellungen bei der Entwicklung der Mensch-Maschine-Interaktion (HMI) von FAS</b> .....	622
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
33.2.6	Änderung der Beziehung Fahrer-Fahrzeug durch FAS .....	624
33.2.7	Situationsbewusstsein und Absicht des Fahrers .....	624
33.2.8	Inneres Modell .....	625
33.2.9	Entlastung oder Belastung durch FIS und FAS? .....	626
33.2.10	Verantwortung des Fahrers .....	626
33.2.11	Stärken von Mensch und Maschine .....	626
33.3	<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
33.4	<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
33.5	<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>	
34.1	Ein Arbeitsmodell von Mensch-Maschine-Schnittstellen .....	634
34.2	Grundeinteilung der Schnittstellen .....	634
34.2.1	Bedienelemente .....	635
34.2.2	Anzeige .....	637
34.3	Gestaltungsleitsätze und -prinzipien .....	638
34.3.1	Gestaltungsleitsätze .....	638
34.3.2	Gestaltungsprinzipien .....	640
34.4	Gestaltungsprozess .....	641
34.5	Praxis und Gestaltungsprozess .....	643
	Literatur .....	645
<b>35</b>	<b>Bedienelemente .....</b>	<b>647</b>
	<i>Klaus Bengler, Matthias Pfromm, Ralph Bruder</i>	
35.1	Anforderungen an Bedienelemente für Fahrerassistenzsysteme .....	648
35.2	Bestimmung des Handlungsorgans, der Körperhaltung und der Greifart .....	649
35.3	Festlegung der Bedienteilart .....	649
35.4	Vermeiden von unbeabsichtigtem und unbefugtem Stellen .....	651
35.5	Festlegung der räumlichen Anordnung und geometrische Integration .....	652
35.6	Festlegung von Rückmeldung, Bedienrichtung, -weg und -widerstand .....	652
35.7	Kennzeichnung der Stellteile .....	654

<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	Heutige Displaykonzepte im Kraftfahrzeug .....	660
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	Anzeigen für das Kraftfahrzeug .....	667
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	Zukünftige Displaykonzepte im Kraftfahrzeug .....	672
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	Einleitung .....	676
37.2	Menschliche Informationsverarbeitung .....	676
37.3	Schnittstellen zwischen Mensch und Maschine .....	677
37.4	Anforderungen an Warnelemente .....	678
37.5	Beispiele für Warnelemente .....	679
37.5.1	Warnelemente für die Längsführung .....	679
37.5.2	Warnelemente der Querführung .....	680
37.6	Voreinteilung von Warnelementen .....	681
	Literatur .....	684
<b>38</b>	<b>Fahrerzustandserkennung</b> .....	<b>687</b>
	<i>Ingmar Langer, Bettina Abendroth, Ralph Bruder</i>	
38.1	Einleitung und Motivation .....	688
38.1.1	Definition des Begriffs „Fahrerzustand“ .....	688
38.1.2	Einfluss eines kritischen Fahrerzustands auf das Unfallrisiko .....	688
38.1.3	Potenziale und Herausforderungen einer Fahrerzustandserkennung .....	688
38.2	Unaufmerksamkeitserkennung .....	689
38.2.1	Definition von Aufmerksamkeit .....	689
38.2.2	Messgrößen und Messverfahren zur Unaufmerksamkeitserkennung .....	690
38.2.3	Anwendungsfälle einer Unaufmerksamkeitserkennung .....	691

<b>38.3</b>	<b>Müdigkeitserkennung</b> .....	<b>691</b>
38.3.1	Definition von Müdigkeit bzw. Ermüdung .....	691
38.3.2	Messgrößen und Messverfahren zur Müdigkeitserkennung .....	692
<b>38.4</b>	<b>Erkennung medizinischer Notfälle</b> .....	<b>694</b>
38.4.1	Messgrößen und Messverfahren zur Erkennung medizinischer Notfälle .....	694
38.4.2	Anwendungsfall „Nothalteassistent“ .....	696
<b>38.5</b>	<b>Marktverfügbare Systeme zur Fahrerzustandsüberwachung</b> .....	<b>696</b>
<b>38.6</b>	<b>Falsch- und Fehlalarmierung bei der Zustandserkennung</b> .....	<b>698</b>
	Literatur .....	698
<b>39</b>	<b>Fahrerabsichtserkennung und Risikobewertung</b> .....	<b>701</b>
	<i>Martin Liebner, Felix Klanner</i>	
<b>39.1</b>	<b>Problemstellung</b> .....	<b>702</b>
39.1.1	Fahrerabsichtserkennung .....	703
39.1.2	Berücksichtigung des Situationsbewusstseins .....	704
<b>39.2</b>	<b>Einordnung bestehender Arbeiten</b> .....	<b>704</b>
<b>39.3</b>	<b>Rein prädiktive Verfahren</b> .....	<b>705</b>
39.3.1	Bewegungsmodelle .....	705
39.3.2	Kollisionserkennung .....	705
39.3.3	Umgang mit Unsicherheiten .....	706
<b>39.4</b>	<b>Wissensbasierte Verfahren</b> .....	<b>706</b>
<b>39.5</b>	<b>Risikobewertung auf Basis der Fahrerabsicht</b> .....	<b>708</b>
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
<b>39.6</b>	<b>Berücksichtigung des Situationsbewusstseins</b> .....	<b>713</b>
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
<b>39.7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b> .....	<b>716</b>
	Literatur .....	717

## **VIII Fahrerassistenz auf Stabilisierungsebene**

<b>40</b>	<b>Bremsenbasierte Assistenzfunktionen</b> .....	<b>723</b>
	<i>Anton van Zanten, Friedrich Kost</i>	
<b>40.1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>724</b>
<b>40.2</b>	<b>Grundlagen der Fahrdynamik</b> .....	<b>724</b>
40.2.1	Stationäres und instationäres Reifen- und Fahrverhalten .....	724
40.2.2	Kenngrößen der Fahrdynamik .....	726
<b>40.3</b>	<b>ABS, ASR und MSR</b> .....	<b>727</b>
40.3.1	Regelkonzepte .....	727
<b>40.4</b>	<b>ESP</b> .....	<b>730</b>
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
40.5	<b>Mehrwertfunktionen</b> .....	740
40.5.1	Special Stability Support .....	740
40.5.2	Special Torque Control .....	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
40.6	<b>Ausblick</b> .....	753
	Literatur .....	753
<b>41</b>	<b>Fahrdynamikregelung mit Brems- und Lenkeingriff</b> .....	755
	<i>Thomas Raste</i>	
41.1	Einleitung .....	756
41.2	Anforderungen an die Zusatzfunktion Stabilisierung mit Bremse und Lenkung .....	756
41.3	Konzept und Wirkprinzip der Brems- und Lenkregelung .....	758
41.4	Funktionsmodule zum Lenkwinkelgriff .....	760
41.5	Funktionsmodule zur Fahrerlenkempfehlung .....	761
41.6	Spezifische Entwicklungs Herausforderungen und zukünftige Entwicklungen .....	763
	Literatur .....	765
<b>42</b>	<b>Fahrdynamikregelsysteme für Motorräder</b> .....	767
	<i>Kai Schröter, Raphael Pleß, Patrick Seiniger</i>	
42.1	Fahrstabilität .....	768
42.2	Bremsstabilität .....	771
42.3	Für Fahrdynamikregelungen relevantes Unfallgeschehen von Motorrädern .....	773
42.4	Stand der Technik der Bremsregelsysteme .....	774
42.4.1	Hydraulische ABS-Bremsanlagen .....	775
42.4.2	Elektrohydraulische Integralbremsanlagen .....	776
42.4.3	Zusatzfunktionen .....	779
42.5	Stand der Technik der Antriebsschlupfregelungssysteme .....	782
42.6	Stand der Technik der Fahrwerkregelsysteme .....	785
42.7	Zukünftige Fahrdynamikregelungen .....	786
42.7.1	Einflussmöglichkeiten auf gebremste Kurvenunfälle .....	786
42.7.2	Einflussmöglichkeiten auf ungebremste Kurvenunfälle .....	790
	Literatur .....	793
<b>43</b>	<b>Stabilisierungsassistentenfunktionen im Nutzfahrzeug</b> .....	795
	<i>Falk Hecker</i>	
43.1	Einleitung .....	796
43.2	Spezifika von ABS, ASR und MSR für Nutzfahrzeuge im Vergleich zum Pkw .....	796
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

43.3	Spezifika der Fahrdynamikregelung für Nutzfahrzeuge im Vergleich zum Pkw	805
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
43.4	Ausblick	811
43.4.1	Fahrdynamikregelung für Allradfahrzeuge	811
43.4.2	Weitergehende Adaptionsalgorithmen in der Fahrdynamikregelung	811
43.4.3	Nutzung weiterer Steiler	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	Häufigkeit von Verkehrsunfällen bei Nacht oder ungünstigen Witterungsverhältnissen	816
44.2	Lichttechnische und fahrzeugtechnische Konsequenzen für Sichtverbesserungssysteme	819
44.3	Derzeitige und zukünftige Scheinwerfersysteme zur Sichtverbesserung	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	Nachtsichtsysteme	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 Schroven, Richard Auer, Michael Rohlf, Gerald Eckert, Ulrich Wuttke, Frank Schwitters</i>	
45.1	Abstufungen der Einparkassistentz	842
45.2	Anforderungen an Einparkassistentzsysteme	842
45.3	Technische Realisierungen	843
45.3.1	Informierende Einparkassistentzsysteme	843
45.3.2	Geführte Einparkassistentz	844
45.3.3	Semiautomatisches Einparken	847
45.4	Ausblick	849
	Literatur	849

<b>46</b>	<b>Adaptive Cruise Control</b> .....	<b>851</b>
	<i>Hermann Winner, Michael Schopper</i>	
46.1	<b>Einleitung</b> .....	<b>852</b>
46.2	<b>Rückblick auf die Entwicklung von ACC</b> .....	<b>852</b>
46.3	<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
46.4	<b>Systemstruktur</b> .....	<b>855</b>
46.4.1	Beispiel Mercedes-Benz Distronic .....	856
46.4.2	Funktionsabstufungen .....	856
46.5	<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
46.6	<b>Zielobjekterkennung für ACC</b> .....	<b>861</b>
46.6.1	Anforderungen an die Umfeldsensorik .....	861
46.6.2	Messbereiche und Messgenauigkeit .....	862
46.7	<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
46.8	<b>Folgeregelung</b> .....	<b>872</b>
46.9	<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	Anhalteregelung, Spezifika der Low-Speed-Regelung .....	878
46.10	<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
46.11	<b>Nutzungs- und Sicherheitsphilosophie</b> .....	<b>883</b>
46.11.1	Nachvollziehbarkeit der Funktion .....	883
46.11.2	Systemgrenzen .....	884
46.12	<b>Sicherheitskonzept</b> .....	<b>884</b>
46.13	<b>Nutzer- und Akzeptanzstudien</b> .....	<b>885</b>
46.13.1	Akzeptanz .....	885
46.13.2	Nutzung .....	886
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
46.14	<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> .....	894
47.2	<b>Unfallschutz durch präventive Assistenz</b> .....	894
47.3	<b>Reaktionsunterstützung</b> .....	895
47.4	<b>Notmanöver</b> .....	896
47.5	<b>Bremsassistentz</b> .....	896
47.5.1	Basisfunktion .....	896
47.5.2	Weiterentwicklungen .....	897
47.6	<b>Warn- und Eingriffszeitpunkte</b> .....	898
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> .....	911
	Literatur .....	912
<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> .....	914
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> .....	915
48.3	<b>Thematische Eingrenzung und Abgrenzung zu anderen Systemen und Kapiteln</b> .....	917
48.4	<b>Aktuelle Systemausprägungen</b> .....	918
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> .....	923
48.6	<b>Systemarchitektur</b> .....	924
48.6.1	Funktionale Systemarchitektur .....	925
48.7	<b>Entwicklungsprozess</b> .....	926
48.7.1	Systematische Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen .....	926
48.7.2	Beispiel: Systematische Entwicklung einer automatischen Notbremsfunktion .....	928
48.8	<b>Zusammenfassung</b> .....	933
	Literatur .....	933
<b>49</b>	<b>Querführungsassistentz</b> .....	<b>937</b>
	<i>Arne Bartels, Michael Rohlf, Sebastian Hamel, Falko Saust, Lars Kristian Klauske</i>	
49.1	<b>Motivation</b> .....	938
49.2	<b>Anforderungen</b> .....	938
49.3	<b>Klassifikation</b> .....	939
49.4	<b>Vorschriften, Normen und Prüfungen</b> .....	939
49.5	<b>Systemkomponenten</b> .....	941
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
49.6	<b>Beispielhafte Umsetzungen</b> .....	950
49.6.1	„Lane Departure Warning“ von Volvo .....	951
49.6.2	„AFIL“ von Citroën .....	952
49.6.3	„Aktiver Spurhalte-Assistent“ von Mercedes-Benz .....	952
49.6.4	„Lane Assist“ von VW .....	953
49.7	<b>Systembewertung</b> .....	954
49.8	<b>Erreichte Leistungsfähigkeit</b> .....	955
49.9	<b>Ausblick</b> .....	955
	Literatur .....	956
<b>50</b>	<b>Fahrstreifenwechselassistent</b> .....	<b>959</b>
	<i>Arne Bartels, Marc-Michael Meinecke, Simon Steinmeyer</i>	
50.1	<b>Motivation</b> .....	960
50.2	<b>Anforderungen</b> .....	960
50.3	<b>Klassifikation der Systemfunktionalität</b> .....	962
50.3.1	Klassifikation nach Leistung der Umfelderkennung .....	962
50.3.2	Systemzustandsdiagramm .....	963
50.4	<b>Beispielhafte Umsetzungen</b> .....	963
50.4.1	„Toter Winkel Assistent“ von Citroën .....	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
50.5	<b>Systembewertung</b> .....	971
50.6	<b>Erreichte Leistungsfähigkeit</b> .....	972
50.7	<b>Weiterentwicklungen</b> .....	973
	Literatur .....	973
<b>51</b>	<b>Kreuzungsassistent</b> .....	<b>975</b>
	<i>Mark Mages, Alexander Stoff, Felix Klanner</i>	
51.1	<b>Unfallgeschehen an Kreuzungen</b> .....	976
51.2	<b>Kreuzungsassistentensysteme</b> .....	976
51.2.1	STOP-Schild-Assistent .....	976
51.2.2	Ampelassistent .....	978
51.2.3	Einbiege-/Kreuzungsassistent .....	980
51.2.4	Linksabbiegeassistent .....	981
51.2.5	Kreuzungsassistent für vorfahrtsberechtigten Verkehrsteilnehmer .....	983
51.3	<b>Situationsbewertung</b> .....	984
51.4	<b>Geeignete Warn- und Eingriffsstrategien</b> .....	986
51.4.1	Assistenzmaßnahmen für den wartepflichtigen Verkehrsteilnehmer .....	986
51.4.2	Kreuzungsassistent für vorfahrtsberechtigten Verkehrsteilnehmer .....	988

51.5	<b>Herausforderungen bei der Umsetzung</b> .....	990
	Literatur .....	993
<b>52</b>	<b>Stauassistent und -automation</b> .....	995
	<i>Stefan Lücke, 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 .....	1001
52.4	<b>Interaktion von Fahrer und System</b> .....	1003
52.4.1	Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI) .....	1003
52.4.2	Übergabe und Kontrollierbarkeit .....	1004
52.4.3	Aspekte der marktfähigen Realisierbarkeit .....	1005
52.5	<b>Schlussbemerkungen</b> .....	1007
	Literatur .....	1007
<b>53</b>	<b>Bahnführungsassistent für Nutzfahrzeuge</b> .....	1009
	<i>Karlheinz Dörner, Walter Schwertberger, Eberhard Hipp</i>	
53.1	Anforderungen an die Fahrer von Nutzfahrzeugen .....	1010
53.2	Wesentliche Unterschiede zwischen Lkw und Pkw .....	1012
53.3	Unfallszenarien .....	1014
53.4	Adaptive Cruise Control (ACC) für Nutzfahrzeuge .....	1017
53.5	Spurverlassenswarner für Nutzfahrzeuge .....	1020
53.6	Notbremssysteme .....	1024
53.7	Vorausschauendes Fahren .....	1025
53.8	Entwicklung für die Zukunft .....	1026
	Literatur .....	1027
<b>54</b>	<b>Fahrerassistenzsysteme bei Traktoren</b> .....	1029
	<i>Marco Reinards, Georg Kormann, Udo Scheff</i>	
54.1	Fahrdynamische Assistenzsysteme .....	1030
54.2	Prozess-Assistenzsysteme .....	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> .....	1047
	<i>Thomas Kleine-Besten, Ulrich Kersken, Werner Pöchmüller, Heiner Schepers, Torsten Mlasko, Ralph Behrens, Andreas Engelsberg</i>	
55.1	Historie .....	1048
55.2	Navigation im Fahrzeug .....	1049
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
55.3	Offboard-Navigation .....	1061
55.4	Hybrid-Navigation .....	1061
55.4.1	Kartendaten – aktuell und individuell .....	1062
55.5	Assistenzfunktionen .....	1063
55.6	Elektronischer Horizont .....	1065
55.7	Verkehrstelematik .....	1066
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
55.8	Smartphone-Anbindung im Automobil .....	1073
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
55.9	Aspekte des Mobilfunks für Navigation und Telematik .....	1075
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> .....	1083
	<i>Peter E. Rieth, Thomas Raste</i>	
56.1	Einleitung .....	1084
56.2	Bauliche Integration .....	1084
56.3	Funktionale Integration .....	1086

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

<b>60</b>	<b>H-Mode 2D</b> .....	1123
	<i>Eugen Altendorf, Marcel Baltzer, Martin Kienle, Sonja Meier, Thomas Weißgerber, Matthias Heesen, Frank Flemisch</i>	
60.1	<b>Einleitung</b> .....	1124
60.2	<b>Von der H-Metapher zum H-Mode</b> .....	1124
60.3	<b>Kooperative Fahrzeugführung mit dem H-Mode</b> .....	1125
60.3.1	Exemplarische Anwendungsfälle für den H-Mode .....	1126
60.4	<b>Systemarchitektur und Funktionsweise</b> .....	1129
60.4.1	Kognitive Automation im H-Mode .....	1130
60.4.2	Interaktionsmediation und Arbitrierung .....	1131
60.4.3	Zusammenwirken der Interaktionsmodalitäten .....	1133
60.5	<b>Fallbeispiele und Untersuchungsergebnisse</b> .....	1134
60.6	<b>Fazit und Ausblick</b> .....	1136
	Literatur .....	1136
<b>61</b>	<b>Autonomes Fahren</b> .....	1139
	<i>Richard Matthaei, Andreas Reschka, Jens Rieken, Frank Dierkes, Simon Ulbrich, Thomas Winkle, Markus Maurer</i>	
61.1	<b>Einleitung</b> .....	1140
61.1.1	Motivation .....	1140
61.1.2	Historie .....	1140
61.1.3	Anforderungen an autonomes Fahren im öffentlichen Straßenverkehr .....	1142
61.1.4	Einordnung relevanter Forschungsprojekte .....	1143
61.1.5	Schwerpunkt der Untersuchungen .....	1144
61.2	<b>Stand der Forschung</b> .....	1145
61.2.1	Wahrnehmung .....	1145
61.2.2	Einsatz von Kartendaten .....	1148
61.2.3	Kooperation .....	1150
61.2.4	Lokalisierung .....	1152
61.2.5	Missionsumsetzung .....	1153
61.2.6	Funktionale Sicherheit .....	1156
61.3	<b>Ausblick und Herausforderungen</b> .....	1159
61.4	<b>Anhang – Fragebogen zum Thema „Automatische Fahrzeuge“</b> .....	1160
61.4.1	Organisation und Zielsetzung des Projekts .....	1160
61.4.2	Umfeldwahrnehmung und -repräsentation, Lokalisierung .....	1160
61.4.3	Funktionsumsetzung und Aktionsausführung .....	1161
61.4.4	Sicherheitskonzepte .....	1161
61.4.5	Systemarchitekturen .....	1162
61.4.6	Besonderheiten .....	1162
	Literatur .....	1162
<b>62</b>	<b>Quo vadis, FAS?</b> .....	1167
	<i>Hermann Winner</i>	
62.1	<b>Stimuli der zukünftigen Entwicklung</b> .....	1168
62.1.1	Datenkommunikation .....	1168
62.1.2	Elektromobilität .....	1169
62.1.3	Gesellschaftliche Einflüsse und Marktentwicklungen .....	1169
62.1.4	Kulturelle und mediale Einflüsse .....	1171

62.2	Herausforderungen und Auswirkungen .....	1171
62.3	Problemfeld Absicherung des autonomen Fahrens .....	1173
62.3.1	Anforderungen an die Absicherung von autonomem Fahren im breiten Einsatz .....	1173
62.3.2	Ausweg aus dem Testdilemma .....	1178
62.3.3	Möglicher Weg zu einer Metrik .....	1180
62.4	Evolution zum autonomen Fahren .....	1180
62.5	Zukünftige Forschungsschwerpunkte .....	1182
62.5.1	Individualisierung .....	1182
62.5.2	Maschinelle Perzeption und Kognition .....	1183
62.5.3	Bewertungsmethoden .....	1184
62.5.4	Vernetzung .....	1184
62.5.5	Gesellschaftliche Forschungsaspekte .....	1185
	Literatur .....	1185
	<b>Serviceteil</b> .....	<b>1187</b>
	Glossar .....	1188
	Stichwortverzeichnis .....	1201