

Inhaltsverzeichnis

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

Inhaltsverzeichnis

4.3	Systematische Entwicklung des HMI von FAS	37
4.3.1	Die Entwicklung des HMI im FAS-Entwicklungsprozess	37
4.3.2	Unterstützungsbedarf des Fahrers	38
4.3.3	Leitlinien zur Entwicklung von FIS und FAS	38
4.3.4	Richtlinien für FIS – „European Statements of Principles on HMI“ (ESoP)	39
4.3.5	Normen zur Gestaltung von FIS und FAS	39
4.3.6	Entwicklung von Normen	40
4.3.7	ISO-Normen zu HMI im Kfz	40
4.4	Bewertung von FAS-Gestaltungen	40
4.5	Zusammenfassung	42
5	Entwurf und Test von Fahrerassistenzsystemen	43
5.1	Begriffsklärung „Fahrerassistenzsysteme“	43
5.2	Motivation des Beitrags	44
5.3	Fahrerassistenzsysteme aus Sicht des Fahrers	44
5.4	Systematischer Entwurf von Fahrerassistenzsystemen	45
5.5	Systematischer Entwurf einer „Automatischen Notbremse“	47
5.5.1	Nutzerorientierte Funktionsdefinition	47
5.5.2	Aspekte der Systemarchitektur	50
5.5.3	Funktionale Tests von Fahrerassistenzsystemen	51
5.5.4	Testfall „berechtigte Auslösung“ – Vehicle-in-the-Loop	51
5.5.5	Fehlerwahrscheinlichkeit für „unberechtigte Auslösung“ – trojanische Pferde	52
5.6	Zusammenfassung	52
6	Bewertungsverfahren von Fahrerassistenzsystemen	55
6.1	Zielsetzung der nutzerorientierten Bewertung	55
6.2	Anforderungen an Bewertungsverfahren	55
6.3	Eingesetzte Verfahren	57
6.3.1	Versuche an Fahrsimulatoren	57
6.3.2	Versuche auf Testgeländen (kontrolliertes Feld)	58
6.3.3	Versuche im realen Straßenverkehr (Feldversuche)	59
6.4	Exemplarische Anwendungen	59
6.4.1	Bewertung von Sicherheitssystemen am Fahrsimulator	59
6.4.2	Bewertung einer Sicherheitsfunktion in Versuchen auf einem Testgelände	64
6.4.3	Bewertung von Assistenzfunktion in Versuchen im realen Straßenverkehr	65
7	EVITA – Das Prüfverfahren zur Beurteilung von Antikollisionssystemen	69
7.1	Einleitung	69
7.2	Bisher bekannte Testverfahren	69
7.3	Das Dummy Target EVITA	70
7.3.1	Ziele	70
7.3.2	Konzept	70
7.3.3	Aufbau	71
7.3.4	Versuchsablauf	71
7.3.5	Leistungsdaten	72
7.4	Messkonzept im Versuchsfahrzeug	72
7.5	Gefährdungen von Versuchsteilnehmern	72
7.6	Bewertungsmethode	73
7.6.1	Wirksamkeit eines Antikollisionssystems	73
7.6.2	Probandenversuch	73
7.6.3	Beurteilungszeitraum	73
7.6.4	Vergleiche von Antikollisionssystemen	74
7.7	Ergebnisse	75

8	Bewertung von Fahrerassistenzsystemen mittels der Vehicle in the Loop-Simulation	76
8.1	Motivation	76
8.2	Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen	76
8.3	Vehicle in the Loop	79
8.3.1	Verkehrssimulation und Visualisierung	80
8.3.2	Positionierung des Versuchsträgers in der Verkehrssimulation	80
8.3.3	Einbindung des Fahrers mithilfe von Augmented Reality	80
8.3.4	Sensormodelle	81
8.4	Gesamtarchitektur des Vehicle in the Loop	81
8.5	Validierung des Vehicle in the Loop	82
8.6	Ausblick	83
9	Einflüsse von Fahrerassistenzsystemen auf die Systemarchitektur im Kraftfahrzeug	84
9.1	Einleitung	84
9.2	Systemarchitektur	85
9.3	Wichtige Einflüsse von Fahrerassistenzsystemen auf die Systemarchitektur	86
9.4	Ausstattungsvarianz und Vernetzungskomplexität	87
9.5	Partitionierung von FAS-Funktionen auf Steuergeräte	88
9.6	Vernetzungstechnologien	91
9.7	Zusammenfassung und Ausblick	92
B	Sensorik für Fahrerassistenzsysteme	93
10	Fahrdynamik-Sensoren für FAS	94
10.1	Einleitung	94
10.2	Allgemeine Auswahlkriterien	94
10.2.1	Anforderungen Technischebene	95
10.2.2	Kommerzielle Ebene	97
10.3	Technische Sensorkenndaten für Fahrerassistenzsysteme	98
10.3.1	Sensoren und Einbauorte	98
10.3.2	Raddrehzahlsensor DF	98
10.3.3	Lenkradwinkelsensoren	101
10.3.4	Drehraten- und Beschleunigungssensoren	104
10.3.5	Bremsdrucksensoren	106
11	Ultraschallsensorik	110
11.1	Piezoelektrischer Effekt	110
11.2	Piezoelektrische Keramiken	110
11.2.1	Materialien	110
11.2.2	Herstellung	111
11.2.3	Hysterese	112
11.2.4	Piezoelektrische Konstanten	112
11.2.5	Depolarisation	113
11.3	Ultraschallwandler	113
11.3.1	Ersatzschaltbild	114
11.4	Ultraschallsensoren für das Kfz	115
11.4.1	Sensorbaugruppen	115
11.5	Antennen und Strahlgestaltung	117
11.5.1	Simulation	117
11.6	Entfernungsmessung	119
11.7	Halter- und Befestigungskonzepte	120
11.8	Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit	120
11.9	Zusammenfassung und Ausblick	121

Inhaltsverzeichnis

12 Radarsensorik	123
12.1 Ausbreitung und Reflektion	123
12.2 Abstands- und Geschwindigkeitsmessung	126
12.2.1 Grundprinzip Modulation und Demodulation	126
12.2.2 Doppler-Effekt	127
12.2.3 Mischen von Signalen	127
12.2.4 Pulsmodulation	129
12.2.5 Frequenzmodulation	131
12.3 Winkelmessung	140
12.3.1 Antennen-theoretische Vorbetrachtungen	140
12.3.2 Scanning	141
12.3.3 Monopuls	142
12.3.4 Mehrstrahler	143
12.3.5 Dual-Sensor-Konzept	144
12.4 Hauptparameter der Leistungsfähigkeit	145
12.4.1 Abstand	145
12.4.2 Relativgeschwindigkeit	145
12.4.3 Azimutwinkel	146
12.4.4 Leistungsfähigkeit und Mehrzielfähigkeit	146
12.4.5 24 GHz vs. 77 GHz	147
12.5 Signalverarbeitung und Tracking	148
12.6 Einbau und Justage	150
12.7 Elektromagnetische Verträglichkeit	151
12.8 Ausführungsbeispiele	152
12.8.1 Bosch LRR2	152
12.8.2 Bosch LRR3	153
12.8.3 Continental (A.D.C.) ARS200	157
12.8.4 Continental ARS 300	159
12.8.5 Delphi Forward Looking Radar (3. Generation)	162
12.8.6 Delphi Electronic Scanning Radar (4. Generation)	162
12.8.7 Hella 24 GHz-Mid Range Radar	166
12.8.8 TRW AC20	168
12.9 Zusammenfassung und Ausblick	169
13 Lidarsensorik	172
13.1 Funktion, Prinzip	172
13.1.1 Begrifflichkeit	172
13.1.2 Messverfahren Distanzsensor	172
13.1.3 Aufbau	174
13.1.4 Transmissions- und Reflexionseigenschaften	177
13.1.5 Trackingverfahren und Auswahl relevanter Ziele	179
13.2 Applikation im Fahrzeug	181
13.2.1 Laserschutz	181
13.2.2 Integration für nach vorne gerichtete Sensoren (zum Beispiel für ACC)	181
13.3 Zusatzfunktionen	182
13.4 Aktuelle Beispiele	183
13.5 Ausblick	185
14 3D Time-of-Flight (ToF)	187
14.1 Einordnung und Erläuterung des Grundkonzeptes	187
14.2 Vorteile und Applikationen	187
14.3 Grundsätzliche Lösungen zur 3D-Erfassung	188
14.3.1 Formerfassung mit optisch inkohärenter Modulationslaufzeitmessung	189
14.3.2 Das PMD-Prinzip	191
14.4 Module eines PMD-Systems	192

14.4.1	PMD-Imager: 2D-Mischer und Integrator	192
14.4.2	Beleuchtung	194
14.4.3	Weiterverarbeitung (Merkmalsextraktion, Objekttracking)	194
14.5	Leistungsfähigkeit und Leistungsgrenzen des Gesamtsystems	196
15	Maschinelles Sehen	198
15.1	Bildsensor	198
15.1.1	Hardwarekomponenten und Technologie	198
15.1.2	Projektive Abbildung	199
15.1.3	Bildrepräsentation	201
15.2	Bildverarbeitung	202
15.2.1	Bildvorverarbeitung	202
15.2.2	Merkmalsextraktion	205
15.3	3d-Rekonstruktion der Szenengeometrie	208
15.3.1	Stereoskopie	208
15.3.2	Motion-Stereo	210
15.3.3	Trifokal-Tensor	211
15.4	Zeitliche Verfolgung	212
15.4.1	Bayes-Filter	213
15.4.2	Zeitliche Verfolgung mit dem Kalman-Filter	214
15.5	Anwendungsbeispiele	214
15.5.1	Fahrstreifenerkennung	214
15.5.2	Objektdetektion	216
15.6	Zusammenfassung und Ausblick	220
16	Kamerabasierte Fußgängerdetektion	223
16.1	Anforderungen	223
16.2	Mögliche Ansätze	224
16.3	Beschreibung des Funktionsprinzips	225
16.4	Beschreibungen der Anforderungen an Hardware und Software	233
16.5	Ausblick	234
17	Fusion umfelderfassender Sensoren	237
17.1	Definition Sensordatenfusion	237
17.1.1	Ziele der Datenfusion	238
17.2	Hauptkomponenten der Sensordatenverarbeitung	239
17.2.1	Signalverarbeitung und Merkmalsextraktion	239
17.2.2	Datenassoziation	240
17.2.3	Datenfilterung	242
17.2.4	Klassifikation	242
17.2.5	Situationsanalyse	242
17.3	Architekturmuster zur Sensordatenfusion von Umfeldsensoren	243
17.3.1	Dezentral – Zentral – Hybrid	243
17.3.2	Rohdaten-Ebene – Merkmals-Ebene – Entscheidungs-Ebene	244
17.3.3	Synchronisiert – Unsynchronisiert	245
17.3.4	Neue Daten – Datenkonstellation – Externes Ereignis	246
17.3.5	Originaldaten – Gefilterte Daten – Prädizierte Daten	246
17.3.6	Parallel – Sequenziell	246
17.4	Abschließende Bemerkung	247
C	Aktorik für Fahrerassistenzsysteme	249
18	Hydraulische Pkw-Bremssysteme	250
18.1	Standardarchitektur	250
18.2	Architektur der Elektrohydraulischen Bremse EHB	259
18.3	Architektur eines Regenerativen Bremssystems (RBS)	267

19 Elektromechanische Bremssysteme	271
19.1 Elektromechanisches Bremssystem (EMB)	271
19.1.1 Motivation	271
19.1.2 Systemarchitektur und Komponenten	271
19.1.3 Betätigungseinrichtung	273
19.1.4 Zentralsteuergerät	275
19.1.5 Radbremsen-Aktor	275
19.1.6 Sensorik	276
19.1.7 Regelkonzepte	276
19.1.8 Energieversorgung	276
19.1.9 Kommunikationssystem (Bus-Struktur)	277
19.2 Hybrid-Bremssystem	278
19.2.1 Motivation	278
19.2.2 Systemarchitektur und Komponenten	278
19.2.3 Regelfunktionen	279
19.2.4 Hinterachs-Aktor	280
19.3 Elektrische Parkbremse (EPB)	280
19.3.1 Motivation	280
19.3.2 Systemarchitektur und Komponenten	280
19.3.3 Schnittstellen des elektronischen Steuergeräts	284
19.3.4 Funktionen der EPB	284
20 Lenkstellensysteme	287
20.1 Allgemeine Anforderungen an Lenksysteme	287
20.2 Basislösungen der Lenkunterstützung	287
20.2.1 Die hydraulische Hilfskraftlenkung (HPS)	287
20.2.2 Die parametrierbare hydraulische Hilfskraftlenkung	288
20.2.3 Die elektrohydraulische Hilfskraftlenkung (EHPS)	289
20.2.4 Die elektromechanische Hilfskraftlenkung (EPS)	290
20.2.5 Elektrische Komponenten	294
20.3 Lösungen zur Überlagerung von Momenten	295
20.3.1 Zusatzaktor für hydraulische Lenksysteme	296
20.3.2 Elektrische Lenksysteme	297
20.4 Lösungen zur Überlagerung von Winkeln	299
20.4.1 Einleitung	299
20.4.2 Funktionalität	300
20.4.3 Stellervarianten	300
20.4.4 Einsatzbeispiel BMW 5er – ZFLS-Aktor am Lenkgetriebe	302
20.4.5 Einsatzbeispiel Audi A4 – ZFLS-Aktor in der Lenksäule	304
20.4.6 Einsatzbeispiel Lexus – koaxialer Lenksäulenaktor lenkwellenfest	307
20.5 Steer-by-Wire-Lenksystem und Einzelradlenkung	309
20.5.1 Systemkonzept und Bauteile	310
20.5.2 Technik, Vorteile und Chancen	311
D Mensch-Maschine-Schnittstelle für Fahrerassistenzsysteme	313
21 Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen	314
21.1 Ein Arbeitsmodell von Mensch-Maschine-Schnittstellen	314
21.2 Grundeinteilung der Schnittstellen	315
21.2.1 Bedienelemente	315
21.2.2 Anzeige	316
21.3 Gestaltungsleitsätze und -prinzipien	317
21.3.1 Gestaltungsleitsätze	317
21.3.2 Gestaltungsprinzipien	319

21.4	Gestaltungsprozess	320
21.5	Praxis und Gestaltungsprozess	323
22	Bedienelemente	325
22.1	Anforderungen an Bedienelemente	325
22.2	Bestimmung des Handlungsorgans, der Körperhaltung und der Greifart	326
22.3	Festlegung der Bedienteilart	326
22.4	Vermeiden von unbefugtem und unbeabsichtigtem Stellen	326
22.5	Festlegung der räumlichen Anordnung	327
22.6	Festlegung von Bedienrichtung, -weg und -widerstand	328
22.7	Festlegung von Form, Abmessungen, Material und Oberfläche	328
22.8	Kennzeichnung der Stellteile	329
22.9	Alternative Bedienkonzepte	329
23	Anzeigen für Fahrerassistenzsysteme	330
23.1	Anforderungen an Displays im Kraftfahrzeug	330
23.1.1	Interaktionskanäle	330
23.1.2	„Code of Practice“	330
23.2	Heutige Displaykonzepte im Kraftfahrzeug	331
23.2.1	Kommunikationsbereiche im Fahrzeug	331
23.2.2	Displays für das Kombiinstrument	332
23.2.3	Head-up-Display (HUD)	334
23.2.4	Zentrale Anzeige- und Bedieneinheit in der Mittelkonsole	335
23.2.5	Displays für Nachtsichtsysteme	335
23.2.6	Zusatzdisplays	336
23.3	Anzeigen für das Kraftfahrzeug	336
23.3.1	Elektromechanische Messwerke	337
23.3.2	Aktive und passive Segmentdisplays	338
23.3.3	Graphikanzeigen für Kombiinstrument und Mittelkonsole	340
23.4	Zukünftige Displaykonzepte im Kraftfahrzeug	341
23.4.1	Kontaktanaloges Head-up-Display	341
23.4.2	Laserprojektion	342
24	Fahrerwarnelemente	343
24.1	Einleitung	343
24.2	Menschliche Informationsverarbeitung	343
24.3	Schnittstellen zwischen Mensch und Maschine	344
24.4	Anforderungen an Warnelemente	345
24.5	Beispiele für Warnelemente	345
24.5.1	Warnelemente für die Längsführung	346
24.5.2	Warnelemente der Querführung	347
24.6	Voreinteilung von Warnelementen	348
24.7	Bewertungskriterien für warnende Frontalkollisionsgegenmaßnahmen	350
24.8	Ergebnisse für Frontalkollisionswarnungen	352
E	Fahrerassistenz auf Stabilisierungsebene	355
25	Bremsenbasierte Assistenzfunktionen	356
25.1	Einleitung	356
25.2	Grundlagen der Fahrdynamik	356
25.2.1	Stationäres und instationäres Reifen- und Fahrverhalten	356
25.2.2	Kenngrößen der Fahrdynamik	359
25.3	ABS, ASR und MSR	360
25.3.1	Regelkonzepte	360

Inhaltsverzeichnis

25.4	ESP	363
25.4.1	Anforderungen	363
25.4.2	Eingesetzte Sensoren	364
25.4.3	Regelkonzept des ESP	366
25.4.4	Sollwertbildung und Schätzung fahrdynamischer Größen	374
25.4.5	Sicherheitskonzept	379
25.5	Mehrwertfunktionen	381
25.5.1	Special Stability Support	381
25.5.2	Special Torque Control	385
25.5.3	Brake & Boost Assist	386
25.5.4	Standstill & Speed Control	390
25.5.5	Advanced Driver Assistance System Support	392
25.5.6	Monitoring & Information	393
25.6	Unterschiede zu EHB-basierten Bremsregelsystemen	393
25.7	Ausblick	394
26	Fahrdynamikregelung mit Brems- und Lenkeingriff	395
26.1	Einleitung	395
26.2	Systemkontext und Benutzeranforderungen	396
26.3	Konzept und Wirkprinzip der Brems- und Lenkregelung	396
26.4	Funktionsmodule zum Lenkwinkleingriff	399
26.5	Funktionsmodule zur Fahrerlenkempfehlung	401
26.6	Zukünftige Entwicklungen	401
27	Fahrdynamikregelsysteme für Motorräder	404
27.1	Fahrstabilität	404
27.2	Bremsstabilität	407
27.3	Für Fahrdynamikregelungen relevantes Unfallgeschehen von Motorrädern	410
27.4	Stand der Technik der Bremsregelsysteme	410
27.4.1	Hydraulische ABS-Bremsanlagen	411
27.4.2	Elektrohydraulische Integralbremsanlagen	412
27.5	Stand der Technik der Antriebsschlupfregelungssysteme	415
27.6	Zukünftige Fahrdynamikregelungen	417
28	Stabilisierungsassistentenfunktionen im Nutzfahrzeug	422
28.1	Einleitung	422
28.2	Spezifika von ABS, ASR und MSR für Nutzfahrzeuge im Vergleich zum Pkw	422
28.2.1	Nkw-spezifische Besonderheiten	422
28.2.2	Regelungsziele und -prioritäten	424
28.2.3	Systemaufbau, Steller	427
28.2.4	Sonderfunktionen für Nkw	430
28.3	Spezifika der Fahrdynamikregelung für Nutzfahrzeuge im Vergleich zum Pkw	430
28.3.1	Nkw-spezifische Besonderheiten	430
28.3.2	Regelungsziele und -prioritäten	431
28.3.3	Systemarchitektur	434
28.3.4	Sonderfunktionen für Nkw	435
28.4	Ausblick	435
28.4.1	Fahrdynamikregelung für Gliederzüge	436
28.4.2	Nutzung weiterer Steller	436
29	Lenkassistentenfunktionen	438
29.1	Lenkübersetzung	438
29.2	Lenkmomentunterstützung	438
29.3	Lenkwinkelunterstützung	440
29.3.1	Ergonomie	442
29.3.2	Lenkverhalten	442

29.4	Fahrerunabhängige Lenkeingriffe	445
29.4.1	Fahrverhalten und Fahrstabilität	445
29.4.2	Assistenzfunktionen zur Bahnführung	445
29.5	Fahrerakzeptanz	446
29.6	Ausblick	446
F	Fahrerassistenz auf Bahnführungs- und Navigationsebene	447
30	Sichtverbesserungssysteme	448
30.1	Häufigkeit von Verkehrsunfällen bei Nacht oder ungünstigen Witterungsverhältnissen ...	448
30.2	Lichttechnische und fahrzeugtechnische Konsequenzen für Sichtverbesserungssysteme ...	452
30.3	Derzeitige und zukünftige Scheinwerfersysteme zur Sichtverbesserung	455
30.3.1	Sichtverbesserungssysteme auf der Basis der Lichtquellenentwicklung	455
30.3.2	Sichtverbesserungssysteme auf Basis der adaptiven Lichtverteilung	456
30.3.3	Sichtverbesserungssysteme auf Basis der assistierenden Lichtverteilung	462
30.4	Nachtsichtsysteme	465
30.4.1	Sensorik für Nachtsichtsysteme im Kraftfahrzeug	465
30.4.2	Anzeigen für Nachtsichtsysteme im Kraftfahrzeug	468
30.4.3	Bildverarbeitung	469
30.4.4	Vergleich der Systemansätze	469
31	Einparkassistentz	471
31.1	Abstufungen der Einparkassistentz	471
31.2	Anforderungen an Einparkassistentzsysteme	471
31.3	Technische Realisierungen	472
31.3.1	Informierende Einparkassistentzsysteme	472
31.3.2	Geführte Einparkassistentz	473
31.3.3	Semiautomatisches Einparken	475
31.4	Ausblick	476
32	Adaptive Cruise Control	478
32.1	Einleitung	478
32.2	Rückblick auf die Entwicklung von ACC	479
32.3	Anforderungen	480
32.3.1	Funktionsanforderungen für Standard-ACC nach ISO 15622	480
32.3.2	Zusätzliche Funktionsanforderungen für FSR-ACC nach ISO 22179	481
32.4	Systemstruktur	482
32.4.1	Beispiel Mercedes-Benz Distronic	482
32.4.2	Beispiel BMW FSR-ACC-System	483
32.4.3	Funktionsabstufungen	483
32.5	ACC-Zustandsmanagement und Mensch-Maschine-Schnittstelle	485
32.5.1	Systemzustände und Zustandsübergänge	485
32.5.2	Bedienelemente mit Ausführungsbeispielen	487
32.5.3	Anzeigeelemente mit Ausführungsbeispielen	488
32.6	Zielobjekterkennung für ACC	491
32.6.1	Anforderungen an die Umfeldsensorik	491
32.6.2	Messbereiche und Messgenauigkeit	491
32.7	Zielauswahl	496
32.7.1	Bestimmung der Kurskrümmung	497
32.7.2	Kursprädiktion	498
32.7.3	Fahrschlauch	498
32.7.4	Weitere Kriterien für die Zielauswahl	500
32.7.5	Grenzen der Zielauswahl	501

Inhaltsverzeichnis

32.8	Folgeregulung	502
32.8.1	Grundsätzliche Betrachtungen zur Folgeregulung	502
32.8.2	Fuzzy-Folgeregler	506
32.9	Zielverluststrategien und Kurvenregelung	506
32.9.1	Annäherungsstrategien	509
32.9.2	Überholunterstützung	509
32.9.3	Reaktion auf stehende Ziele	510
32.9.4	Anhalteregelung, Spezifika der Low-Speed-Regelung	510
32.10	Längsregelung und Aktorik	510
32.10.1	Grundstruktur und Koordination Aktorik	510
32.10.2	Bremse	511
32.10.3	Antrieb	513
32.11	Nutzungs- und Sicherheitsphilosophie	515
32.11.1	Nachvollziehbarkeit der Funktion	515
32.11.2	Systemgrenzen	515
32.12	Sicherheitskonzept	516
32.13	Nutzer- und Akzeptanzstudien	517
32.13.1	Akzeptanz	517
32.13.2	Nutzung	517
32.13.3	Kompensationsverhalten	518
32.13.4	Habituationseffekte	519
32.13.5	Übernahmesituationen	519
32.13.6	Komfortbeurteilung	520
32.14	Ausblick	520
32.14.1	Aktuelle Entwicklungen	520
32.14.2	Funktionserweiterungen	520
33	Frontalkollisionsschutzsysteme	522
33.1	Problemstellung	522
33.2	Frontalunfallschutz durch präventive Assistenz	523
33.3	Reaktionsunterstützung	523
33.4	Notmanöver	524
33.5	Bremsassistentz	524
33.5.1	Basisfunktion	524
33.5.2	Weiterentwicklungen	527
33.6	Warn- und Eingriffszeitpunkte	527
33.6.1	Fahrdynamische Betrachtungen	528
33.6.2	Frontalkollisionsgegenmaßnahmen	535
33.6.3	Nutzenpotenzial für Kollisionsgegenmaßnahmen	537
33.6.4	Anforderungen an die Umfelderkennung	539
33.7	Ausblick	540
34	Lane Departure Warning	543
34.1	Fahrstreifenerkennungssysteme und ihre Anwendung	543
34.2	Ein Blick auf die Unfalldaten	543
34.3	Fahrstreifenerkennungssysteme	545
34.3.1	Umwelteinflüsse und begrenzende Faktoren	546
34.3.2	Länderspezifische Unterschiede	547
34.4	Funktionsausprägungen	548
34.4.1	Lane Departure Warning-System (LDW)	548
34.4.2	Advanced Lane Departure Warning-System (ALDW)	549
34.4.3	Lane Keeping Support (LKS)	550
34.4.4	Lane Departure Prevention (LDP)	551
34.5	Erwartung für den Markt	551

35 Lane Keeping Support	554
35.1 Funktionsübersicht	554
35.2 Lösungsansätze und technische Realisierung	556
35.2.1 Fahrstreifenerkennung	556
35.2.2 Regelstrategie	557
35.2.3 Mensch-Maschine-Schnittstelle	558
35.2.4 Aktoren	558
35.3 Grenzen des Systems	559
35.4 Ausblick	559
36 Fahrstreifenwechsellassistentz	562
36.1 Motivation	562
36.2 Anforderungen	562
36.3 Klassifikation der Systemfunktionalität	563
36.3.1 Klassifikation nach Leistung der Umfelderkennung	564
36.3.2 Systemzustandsdiagramm	564
36.4 Lösungen und beispielhafte Umsetzungen	565
36.4.1 „Blind Spot Information System“ (BLIS) von Volvo	566
36.4.2 „Toter Winkel Detektor“ von Peugeot	566
36.4.3 „Totwinkel-Assistent“ von Mercedes-Benz	566
36.4.4 „Audi Side Assist“/„Side Assist“ von VW	568
36.4.5 Zusammenfassung	569
36.5 Erreichte Leistungsfähigkeit	570
36.6 Weiterentwicklungen	571
37 Kreuzungsassistentz	572
37.1 Unfallgeschehen an Kreuzungen	572
37.2 Kreuzungsassistentzsysteme	572
37.2.1 STOP-Schild-Assistentz	573
37.2.2 Ampelassistentz	574
37.2.3 Einbiege-/Kreuzenassistentz	575
37.2.4 Linksabbiegeassistentz	576
37.3 Situationsbewertung	577
37.4 Geeignete Warn- und Eingriffsstrategien	578
37.5 Herausforderungen bei der Umsetzung	579
38 Bahnführungsassistentz für Nutzfahrzeuge	582
38.1 Anforderungen an die Fahrer von Nutzfahrzeugen	582
38.2 Wesentliche Unterschiede zwischen Lkw und Pkw	584
38.3 Unfallszenarien	586
38.4 Adaptive Cruise Control (ACC) für Nutzfahrzeuge	588
38.5 Spurverlassenswarner für Nutzfahrzeuge	592
38.6 Notbremssysteme	595
38.7 Entwicklung für die Zukunft	596
39 Navigation und Telematik	599
39.1 Historie	599
39.2 Navigation im Fahrzeug	600
39.2.1 Ortung	601
39.2.2 Zieleingabe	604
39.2.3 Routensuche	605
39.2.4 Zielführung	606
39.2.5 Kartendarstellung	607
39.2.6 Dynamisierung	608
39.2.7 Korridor und Datenabstraktion (Datenträger)	608

Inhaltsverzeichnis

39.3	Offboard-Navigation	609
39.4	Hybrid-Navigation	609
39.4.1	Kartendaten – aktuell und individuell	611
39.5	Assistenzfunktionen	612
39.6	Verkehrstelematik	612
39.6.1	Rundfunkbasierte Technologien	613
39.6.2	Mobilfunkbasierte Technologien	614
39.6.3	Telematik Basisdienste	615
39.6.4	Car-to-Car-Kommunikation, Car-to-Infrastructure-Kommunikation	617
39.6.5	Mautsysteme	618
39.6.6	Moderne Verkehrssteuerung	618
39.6.7	Zukünftige Entwicklung von Telematikdiensten	619
39.7	Herausforderungen für Navigation und Telematik	619
39.7.1	Consumer-Elektronik (CE) versus Automobil-Elektronik (AE)	620
39.7.2	Aufbau	622
39.7.3	Entwicklungsprozess	622
G	Zukunft der Fahrerassistenzsysteme	625
40	Das mechatronische Fahrwerk der Zukunft	626
40.1	Das vernetzte Chassis	626
40.2	Motivationen für Brake-by-Wire-Systeme	629
40.3	Ausblick	629
41	Antikollisionssystem PRORETA – Integrierte Lösung zur Vermeidung von Überholunfällen	632
41.1	Einleitung	632
41.2	Videobasierte Gesamtszenensegmentierung zur Bestimmung des Manöverraums	632
41.3	Sensorfusion von Radar und Videosignalen	635
41.4	Situationsanalyse für Überholvorgänge	636
41.5	Realisierung von Warnungen und aktiven Eingriffen	637
41.6	Ergebnisse von Fahrversuchen	637
41.7	Zusammenfassung	639
41.8	Schlussbemerkung	639
42	Kooperative Automation	641
42.1	Einleitung und Motivation	642
42.2	Aspekte der kooperativen Automation	642
42.2.1	Parallel-simultane Assistenz	642
42.2.2	Parallel-sequenzielle Assistenz	643
42.2.3	Seriell-simultane Assistenz	643
42.2.4	Seriell-sequenzielle Assistenz	643
42.2.5	Weitere ergonomische Aspekte einer kooperativen Fahrzeugführung	644
42.3	Umsetzungen	645
42.3.1	Conduct-by-Wire	645
42.3.2	H-Mode – die Umsetzung der Horse-Metapher	647
42.4	Fazit und Ausblick	649
43	Autonomes Fahren	651
43.1	Urban Challenge 2007	651
43.1.1	Systemaufbau	652
43.1.2	Software-Architektur	653
43.1.3	Informationsverarbeitungskette	654
43.1.4	Erfassung der Umgebung	655
43.1.5	Dynamische Objekte	655
43.1.6	Fahrstreifenenerkennung	655

43.1.7	Missions- und Manöverplanung	655
43.1.8	Regelung	657
43.2	Zusammenfassung	657
44	Quo vadis, FAS?	658
44.1	Integrierte Bedienkonzepte für Fahrerassistenzsysteme	658
44.2	Verbesserung der Umweltbilanz durch FAS	658
44.3	Mobilitätsteigerung durch FAS	659
44.4	Aktive Kollisionsvermeidung	660
44.5	Autonomes Fahren	661
44.5.1	Problemfeld Zulassung	662
44.5.2	Ausweg aus dem Testdilemma	663
44.5.3	Möglicher Weg zu einer Metrik	665
44.6	Evolution der Fahrerassistenzsysteme	666
44.7	Fazit	667
H	Glossar	668
	Sachwortverzeichnis	675