

Inhaltsverzeichnis

Band I

I Grundlagen der Fahrerassistenzentwicklung

1	Menschliche Leistung bei der Fahrzeugführung	3
	<i>Bettina Abendroth und Philip Joisten</i>	
1.1	Relevanz der menschlichen Leistung für die Fahrzeugführung	5
1.2	Menschlicher Informationsverarbeitungsprozess	6
1.2.1	Informationsaufnahme	8
1.2.2	Informationsverarbeitung.....	10
1.2.3	Informationsabgabe	11
1.3	Determinanten des menschlichen Leistungsangebotes	12
1.3.1	Alter	12
1.3.2	Persönlichkeitsmerkmale	14
1.3.3	Fahrerfahrung.....	14
1.3.4	Ermüdung	15
1.4	Anforderungen an Fahrzeugführende im System Fahrer-Fahrzeug-Umgebung	15
1.4.1	Teilaufgaben der Fahrzeugführung.....	16
1.4.2	Anforderungen aus der Fahrzeugführungsaufgabe	16
1.5	Bewertung der Anforderungen aus der Fahrzeugführungsaufgabe im Hinblick auf das menschliche Leistungsangebot	18
1.5.1	Informationsquellen, Sinnes- und Wahrnehmungsprozesse	18
1.5.2	Beurteilungsleistungen	20
1.5.3	Entscheidungs- und Denkprozesse	21
1.5.4	Fahrzeugbedienung.....	22
	Literatur	22
2	Klassifizierung automatisierter Fahrfunktionen	25
	<i>Elisabeth Shi und Tom Michael Gasser</i>	
2.1	Einleitung	26
2.2	Was wird klassifiziert?	27
2.2.1	Unterscheidung zwischen Fahrzeugen, Systemen und Funktionen.....	27
2.2.2	Unterscheidung zwischen Navigation, Stabilisation und Bahnführung.....	27
2.2.3	Geltungsbereich der Klassifikationen.....	28
2.3	Wie wird klassifiziert?	28
2.3.1	Wirkweise A: Informierende und warnende Funktionen.....	29
2.3.2	Wirkweise B: Kontinuierlich automatisierende Funktionen.....	30
2.3.3	Wirkweise C: In unfallgeneigten Situationen temporär eingreifende Funktionen	32
2.3.4	Zusammenspiel und Konkurrenzverhältnis	32
2.4	Für wen wird klassifiziert?	33
2.4.1	Ansätze zur nutzergerechten Kommunikation	33
	Literatur	34

3	Allgemeine rechtliche Rahmenbedingungen für assistierte, automatisierte und autonome Fahrfunktionen in Deutschland.....	37
	<i>Tom Michael Gasser</i>	
3.1	Einleitung und Übersicht.....	38
3.2	Informierende und warnende Funktionen (Wirkweise A).....	38
3.3	Kontinuierlich automatisierte Funktionen (Wirkweise B).....	39
3.3.1	Internationales Recht: Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr (1968) – Übersteuerbarkeit durch Fahrende	40
3.3.2	Assistierende Funktionen (Level 1 und 2)	40
3.3.3	Automatisierende Funktionen (Level 3).....	42
3.3.4	Autonome Funktionen (Level 4)	45
3.4	In unfallgeneigten Situationen eingreifende Funktionen (Wirkweise C)	50
3.4.1	In abstrakt unfallgeneigten Situationen eingreifende Funktionen	50
3.4.2	In konkret unfallgeneigten Situationen eingreifende Funktionen.....	51
	Literatur	52
4	Rahmenbedingungen für Fahrerassistenz aus Typgenehmigung und Verbraucherschutz.....	55
	<i>Patrick Seiniger, Andre Seeck und André Wiggerich</i>	
4.1	Einordnung in den Produktentwicklungsprozess	56
4.2	Herkunft von Rahmenbedingungen	57
4.2.1	Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen	57
4.2.2	Marktüberwachung	58
4.2.3	Verbraucherschutz mit Euro NCAP	59
4.3	Formulierung von Anforderungen.....	60
4.3.1	Implizite Vorgabe von Anforderungen durch präzise Testkriterien.....	61
4.3.2	Explizite Vorgabe von Anforderungen	62
4.4	Konkrete Anforderungen aus fahrzeugtechnischen Vorschriften	64
4.4.1	UN-Regelungen	64
4.4.2	Delegierte Rechtsakte der Europäischen Kommission.....	66
4.5	Konkrete Anforderungen aus dem Verbraucherschutz	66
4.5.1	Grading von Komfortassistenz.....	67
4.6	Fazit und Ausblick.....	67
	Literatur	68
5	Fahrerassistenzsysteme und automatisierte Fahrfunktionen – Unfallgeschehen und Sicherheitspotenziale.....	71
	<i>Matthias Kühn, Jenö Bende und Lars Hannawald</i>	
5.1	Unfallstatistik.....	72
5.1.1	Unfallgeschehen in Deutschland	72
5.1.2	Unfallgeschehen nach Fahrzeugart	76
5.2	Einteilung und Abgrenzung moderner Fahrerassistenz- und automatisierter Fahrfunktionen	80
5.3	Sicherheitspotenzial von Fahrerassistenzsystemen	82
5.3.1	Methoden zur Bewertung des Sicherheitspotenzials von FAS.....	82
5.3.2	Pkw	84

5.3.3	Lkw	84
5.3.4	Bus	85
5.3.5	Motorisiertes Zweirad (MZR)	85
5.4	Sicherheitspotenzial automatisierter Fahrfunktionen bei Pkw	87
5.5	Ausblick	89
	Literatur	89
6	Sicherheit von assistierten und automatisierten Systemen	91
	<i>Ulf Wilhelm und Susanne Ebel</i>	
6.1	Überblick der existierenden Sicherheitsnormen	92
6.2	Funktionale Sicherheit	95
6.2.1	Ziele und Aufbau der ISO 26262	95
6.2.2	Sicherheitsanforderungen an Fahrerassistenz- und automatisierte Systeme	95
6.2.3	Erfüllung der Sicherheitsanforderungen	104
6.2.4	Grenzen der ISO 26262	110
6.3	Safety of the intended functionality (SOTIF)	113
6.3.1	Einführung in ISO 21448	113
6.3.2	Überblick SOTIF-Vorgehensmodell	115
6.3.3	Funktion ohne SOTIF-relevante Limitierungen [5, 6]	116
6.3.4	Iterative Anpassung der Funktionsspezifikation [7, 8, 13]	118
6.3.5	Funktion mit akzeptierten funktionalen Unzulänglichkeiten [7, 9–11]	120
6.3.6	Massiv datengetriebene Entwicklung	124
6.4	UN/ECE im Kontext der Sicherheitsnormen	125
6.5	Zusammenfassung und Ausblick	125
	Literatur	126

II Virtuelle Entwicklungs- und Testumgebungen für Fahrerassistenzsysteme

7	Virtuelle Integration	131
	<i>Michael Kochem und Stephan Hakuli</i>	
7.1	Durchgängiges Testen und Bewerten im virtuellen Fahrversuch	132
7.2	Effiziente Zusammenarbeit zwischen Hersteller und Zulieferer mittels einer Integrations- und Testplattform	135
7.3	In-the-Loop-Methoden und virtuelle Integration im V-Modell	136
7.4	Erweiterung des V-Modells durch alternative Entwicklungsmethoden (Agile/Scrum)	141
7.5	Virtuelle Integration im Entwicklungsprozess	143
7.5.1	Spezifizieren mithilfe der virtuellen Integration	143
7.5.2	Integrieren mithilfe der virtuellen Integration	146
7.5.3	Anwendung agiler Methoden & CI/CT/CD-Werkzeuge bei der virtuellen Integration	148
7.6	Grenzen der virtuellen Integration	149
7.6.1	Validitätsgrenzen	149
7.6.2	Praktische Grenzen	150
7.7	Fazit	150
	Literatur	151

8	Dynamische Fahrsimulatoren.....	153
	<i>Hans-Peter Schöner, Jens Häcker und Katja Nagel</i>	
8.1	Allgemeiner Überblick über Fahrsimulatoren.....	157
8.1.1	Einsatz von Fahrsimulatoren.....	157
8.1.2	Beispiele für dynamische Fahrsimulatoren.....	159
8.2	Aufbau eines dynamischen Fahrsimulators am Beispiel des Mercedes-Benz-Fahrsimulators.....	162
8.2.1	Bewegungssystem.....	162
8.2.2	Fahrerumfeld	163
8.2.3	Bildsystem.....	164
8.2.4	Sound- und NVH-System.....	165
8.2.5	Modelle der Fahrdynamik und der Umgebung	165
8.2.6	Abbildung der Bewegung in den beschränkten Bewegungsraum.....	166
8.2.7	Wahrnehmungskonflikte und Simulatorkrankheit.....	167
8.2.8	Vorbereitungssimulatoren.....	168
8.3	Versuchskonzeption.....	168
8.3.1	Zielstellung von Probandenuntersuchungen	168
8.3.2	Versuchsdesign.....	169
8.3.3	Versuchsvorbereitung	172
8.3.4	Ablenkungen	172
8.3.5	Lerneffekte.....	173
8.3.6	Probandenauswahl.....	173
8.3.7	Auswertung von Probandenversuchen	174
8.4	Problematik der Übertragbarkeit, der Realitätsnähe und des Gefahrenempfindens.....	176
8.4.1	Verfahren zur Validierung von Fahrsimulatoren	176
8.4.2	Realitätsnähe und Gefahrenempfinden	177
8.5	Zusammenfassung und Ausblick.....	178
	Literatur	179

III Testmethoden

9	Testverfahren für Verbraucherschutz und Fahrzeugtypgenehmigung ...	185
	<i>Patrick Seiniger, Adrian Hellmann und Andre Seeck</i>	
9.1	Systematik von Testverfahren.....	186
9.2	Testverfahren im Verbraucherschutz am Beispiel von Euro NCAP.....	187
9.2.1	Konzept.....	187
9.2.2	Randbedingungen von Testverfahren bei Euro NCAP	189
9.2.3	Testverfahren für Fahrerassistenzsysteme	190
9.3	Testverfahren im Rahmen fahrzeugtechnischer Vorschriften	195
9.4	Eigenschaften von Testwerkzeugen	195
9.4.1	Pkw-repräsentierende Zielobjekte und Bewegungsvorrichtungen.....	196
9.4.2	Menschen repräsentierende Zielobjekte und Bewegungsvorrichtungen.....	197
9.4.3	Fahrräder und Motorräder repräsentierende Zielobjekte und Bewegungsvorrichtungen.....	198
9.5	Ausblick: Realitätsnähe und Testaufwand.....	199
	Literatur	200

10	Menschzentrierte Bewertungsverfahren von assistierten Fahrfunktionen	201
	<i>Caroline Schießl</i>	
10.1	Warum benötigen wir menschzentrierte Bewertungsverfahren von assistierten Fahrfunktionen?	202
10.1.1	Methoden und Modelle menschzentrierter Fahrerassistenz-, Automations- und Verkehrssysteme	202
10.1.2	Erfassung, Analyse, Modellierung und Bewertung	202
10.2	Klassische Bewertungsverfahren und deren Grenzen	203
10.2.1	Natürliche Fahrstudien	204
10.2.2	Simulatorstudien	205
10.3	Innovative, neue Verfahren	207
10.3.1	Die vernetzte Simulation	207
10.3.2	Anwendungs- und Forschungsbeispiele	209
10.4	Ausblick/Bedeutung für automatisiertes Fahren	211
	Literatur	212
11	Wizard-of-Oz-Fahrzeuge	215
	<i>Alexander T. Frey und Meike Jipp</i>	
11.1	Einführung und Definitionen	216
11.2	Das Wizard-of-Oz-Prinzip als neue psychologische Untersuchungsmethode beim automatisierten Fahren	217
11.2.1	Wizard-of-Oz Studien im Kontext methodischer Gütekriterien	219
11.2.2	Methodenspezifische Herausforderungen bei der Studienplanung und -durchführung	221
11.3	Einsatz von Wizard-of-Oz-Fahrzeugen in der Forschung zur Mensch-Maschine-Interaktion bei kontinuierlicher Fahrzeugautomatisierung	222
11.3.1	Einsatz für SAE-Level-3	223
11.3.2	Einsatz für SAE-Level 4	227
11.4	Zusammenfassung und abschließende Diskussion	229
	Literatur	231
12	EVITA – Das Verfahren zur realistischen Darbietung auffahrkollisionskritischer Situationen im Fahrversuch	235
	<i>Norbert Fecher, Jens Hoffmann und Hermann Winner</i>	
12.1	Das Dummy Target EVITA	237
12.1.1	Motivation, Ziele und Anforderungen	237
12.1.2	Konzept	237
12.1.3	Aufbau	238
12.1.4	Versuchsablauf	239
12.1.5	Gefährdungen von Versuchsteilnehmenden	239
12.1.6	Leistungsdaten	240
12.2	Bewertungsmethodik für Antikollisionssysteme	240
12.2.1	Messkonzept im Versuchsfahrzeug	240
12.2.2	Fahrzeugunabhängige Schnellmesseinrichtung	240
12.2.3	Wirksamkeit eines Antikollisionssystems	240
12.2.4	Probandenversuch	241

12.2.5	Bewertungskriterien für warnende Frontkollisionsgegenmaßnahmen	242
12.2.6	Vergleiche von Antikollisionssystemen	243
12.2.7	Einsatz in weiteren Studien	244
12.3	Darbietung von auffahrkollisionskritischen Situationen im Fahrversuch	244
12.3.1	Automatische Notbremssysteme für Motorräder	244
12.3.2	Übernahmeverhalten bei teilautomatisiertem Fahren (Level 3).....	245
12.4	Ausblick und künftige Anwendung	245
	Literatur	245
13	Testen mit koordinierten automatisierten Fahrzeugen	247
	<i>Hans-Peter Schöner, Pim van der Jagt und Sebastian Werr</i>	
13.1	Motivation für den Einsatz koordinierter automatisierter Fahrzeuge	249
13.2	Anforderungen an Präzision und Reproduzierbarkeit	251
13.3	Technische Umsetzung	251
13.3.1	Im Fahrzeug: Lenkroboter, Pedalroboter, Positionsmessung, Safety-Controller, Notbremseinrichtung	251
13.3.2	Im Leitstand: Steuerzentrale, Visualisierung, Koordination, Sicherheit.....	253
13.3.3	Sonstige Systeme: Daten- und Bildübertragung, Datensynchronisation, Luftbilder.....	254
13.4	Planung von Manövern	255
13.4.1	Planung einzelner Trajektorien	255
13.4.2	Planung und Überprüfung koordinierter Trajektorien	255
13.4.3	Genauigkeit und Wiederholbarkeit	256
13.4.4	Virtuelle Leitplanken	257
13.5	Selbstfahrende Targets	257
13.5.1	Soft-Crash-Target	258
13.5.2	Überfahrbarer Target-Träger	259
13.5.3	Zertifiziertes crashbares Target	260
13.5.4	Targets für „Vulnerable Road Users“ (VRU)	261
13.6	Beispiele für automatisierte Fahrmanöver	262
13.6.1	Automatisierte Manöver einzelner Fahrzeuge	262
13.6.2	Koordinierte Manöver mit mehreren automatisierten Fahrzeugen.....	263
13.6.3	Manöver mit fahrzeugführender Person und mit getriggerten bzw. synchronisierten Targets	264
13.7	Zukünftige Entwicklungen	265
	Literatur	266

IV Sensoren für Fahrerassistenzsysteme

14	Ultraschallsensorik	269
	<i>Heinrich Gotzig</i>	
14.1	Einleitung	270
14.2	Grundlagen der Ultraschallwandlung	270
14.2.1	Piezoelektrischer Effekt	270
14.2.2	Piezoelektrische Keramiken	270
14.3	Ultraschallwandler	271

14.3.1	Grundbegriffe der Akustik	272
14.3.2	Aufbau und Funktionen.....	272
14.3.3	Entfernungsmessung	277
14.4	Systemgrenzen des Ultraschallsensors	279
14.5	Ultraschallbasierende Umfelderfassung/Fahrerassistenz	281
14.5.1	Ultraschallbasierende Applikationen	281
14.5.2	Generische Ultraschallsystemarchitektur..	281
14.5.3	Systemapplikation Ultraschall.....	282
14.5.4	Performance.....	282
14.6	Zusammenfassung und Ausblick.....	283
14.6.1	Zusammenfassung	283
14.6.2	Ausblick.....	283
	Literatur	286
15	Radarsensorik	287
	<i>Hermann Winner und Christian Waldschmidt</i>	
15.1	Einleitung.....	289
15.2	Ausbreitung und Reflektion	290
15.3	Grundlagen der Radarsignalverarbeitung	295
15.3.1	Grundprinzip Modulation und Demodulation.....	295
15.3.2	Frequenzmodulation (FM)	299
15.3.3	Digitale Modulationsverfahren.....	304
15.4	Prinzip der Winkelmessung	306
15.4.1	Antennentheoretische Vorberachtungen	306
15.4.2	Scanning.....	308
15.4.3	Monopuls	309
15.4.4	Planare Antennen-Arrays	311
15.5	Hauptparameter der Leistungsfähigkeit	317
15.5.1	Abstand.....	317
15.5.2	Radialgeschwindigkeit.....	318
15.5.3	Azimutwinkel.....	318
15.5.4	Elevationswinkel.....	318
15.5.5	Leistungsfähigkeit und Mehrzielfähigkeit	318
15.5.6	24 GHz vs. 77 GHz	320
15.6	Signalverarbeitung und Tracking	321
15.7	Einbau und Justage	324
15.8	Interferenz	326
15.8.1	Auftreten und Auswirkungen	326
15.8.2	Gegenmaßnahmen	326
15.9	Ausführungsbeispiele.....	328
15.9.1	Bosch Radarsensoren der 4. Generation.....	328
15.9.2	Bosch Radarsensoren der 5. Generation.....	328
15.9.3	Continental Radarsensoren der 5. Generation	334
15.9.4	HELLA 24 GHz- und 77 GHz-Corner-Radarsensoren.....	341
15.9.5	Valeo MB79 Radar	344
15.9.6	ZF MRGen21 und FRGen21	346
15.10	Zusammenfassung und Ausblick.....	353
	Literatur	354

16	LiDAR	357
	<i>Thorsten Beuth, Christoph Parl und Heinrich Gotzig</i>	
16.1	Definition und Einordnung	359
16.2	Einleitung und Historie	359
16.3	Hauptkomponenten eines LiDAR-Systems	359
16.3.1	Allgemeiner Aufbau	359
16.3.2	Varianten des optischen Pfades	361
16.4	Hauptkennwerte	363
16.4.1	Systemreichweite	363
16.4.2	Punktrate, Messbereich und Auflösung	364
16.5	Messmethoden	365
16.5.1	Direktes Time-of-Flight (dTOF)	365
16.5.2	Indirektes Time-of-Flight (iTOf)	366
16.5.3	Gated Imaging	367
16.6	Laserschutz des LiDARs	368
16.7	Anwendungsszenarien	369
16.7.1	Datenpunktgenerator	369
16.7.2	Intelligenter Sensor	369
16.7.3	Funktionalitätsunterstützungen	371
16.7.4	Zonenmodelle, Anwendungen und Anforderungen	372
16.8	Einsatz mehrerer Sensoren	373
16.8.1	Erhöhung der Umsicht und der Redundanz	373
16.8.2	Laserklasse des Autos	373
16.8.3	Extrinsische Kalibrierung	373
16.9	Aktuelle Serienbeispiele	374
16.10	Zusammenfassung und Ausblick	375
	Literatur	376
17	Kamerasonderik	379
	<i>Martin Punke, Boris Werthessen, Peter Geisler, Christian Mindescu und Andreas Wagner</i>	
17.1	Einsatzgebiete und Beispielanwendungen	380
17.1.1	Umfelderfassung	380
17.1.2	Fahrzeugführungs- und Innenraumüberwachung	383
17.2	Kameras für Fahrerassistenzsysteme	385
17.2.1	Kriterien für die Auslegung	385
17.3	Kameramodul	388
17.3.1	Aufbau eines Kameramoduls	388
17.3.2	Optik	390
17.3.3	Bildsensor	392
17.4	System-Architektur	401
17.4.1	Systemübersicht	401
17.4.2	Frontview-Kameraarchitektur	403
17.4.3	Satelliten-Kamerasytemarchitektur	404
17.4.4	Innenraumkamerasytem-Architektur	405

17.5	Kalibrierung	406
17.5.1	Kalibrierparameter.....	406
17.5.2	Orte der Kalibrierung und Kalibrierverfahren	407
17.6	Ausblick	408
	Literatur	409
18	Maschinelles Sehen	411
	<i>Christoph Stiller, Alexander Bachmann und Ole Salscheider</i>	
18.1	Bildentstehung	412
18.1.1	Projektive Abbildung.....	412
18.1.2	Bildrepräsentation	413
18.2	Bildverarbeitung	414
18.2.1	Bildverbesserung und -filterung.....	414
18.2.2	Merkmalsextraktion	415
18.3	Deep Learning	421
18.4	Rekonstruktion der Szenengeometrie	424
18.4.1	Stereoskopie	425
18.4.2	Motion-Stereo	428
18.4.3	Zeitliche Verfolgung.....	429
18.5	Anwendungsbeispiele	432
18.5.1	Panoptische Segmentierung	433
18.5.2	Maschinelles Sehen im Mobilitätskonzept „Mobility-as-a-Service“	436
18.6	Zusammenfassung und Ausblick	440
	Literatur	441
19	Stereosehen	445
	<i>Uwe Franke und Stefan Gehrig</i>	
19.1	Lokale und globale Verfahren der Disparitätsschätzung	449
19.1.1	Lokale Korrelationsverfahren.....	449
19.1.2	Globale Stereoverfahren	452
19.1.3	Stereoverfahren mittels Deep-Learning-Algorithmen	454
19.2	Genauigkeit der Stereoanalyse	456
19.2.1	Subpixelgenaue Schätzung.....	456
19.2.2	Effekte einer Dekalibrierung	458
19.3	6D-Vision	460
19.3.1	Das Prinzip	460
19.3.2	Dense6D	464
19.4	Stixel-Welt	466
19.4.1	Optimale Berechnung	467
19.4.2	Semantische Stixel.....	469
19.4.3	Instanzen	470
19.5	Zusammenfassung	471
	Literatur	472

V Datenfusion und Umweltrepräsentation

20	Repräsentation fusionierter Umfelddaten	477
	<i>Klaus Dietmayer, Fabian Gies, Dominik Nuss, Stephan Reuter und Marcel Schreiber</i>	
20.1	Anforderungen an Fahrzeugumgebungsrepräsentationen	478
20.2	Objektbasierte Darstellungen	480
20.2.1	Sensorspezifische Objektmodelle und Koordinatensysteme	480
20.2.2	Zustands- und Existenzunsicherheiten.....	481
20.2.3	Grundlegende Verfahren des Multi-Objekt-Trackings.....	482
20.2.4	Eigenlokalisierung und Einbeziehung digitaler Karten	492
20.2.5	Zeitliche Aspekte	492
20.3	Rasterbasierte Verfahren	493
20.3.1	Konzept der Rasterkarten	493
20.3.2	Eigenbewegungsschätzung.....	493
20.3.3	Algorithmen zur Erzeugung von Belegungsrasterkarten	495
20.3.4	Dynamische Rasterkarten.....	498
20.4	Fusionierte Umgebungsmodellierung	504
20.4.1	Objektextraktion aus dynamischen Belegungsrasterkarten.....	504
20.4.2	Umgebungsmodellierung und Objektfusion	506
20.5	Zusammenfassung	507
	Literatur	508
21	SLAM und kartenbasierte Lokalisierung	511
	<i>Marc Sons, Mario Theers und Isabell Hofstetter</i>	
21.1	Einleitung	513
21.2	Problemformulierung	517
21.3	Komponenten eines SLAM-Systems	520
21.4	Sensoren & Merkmalsassoziation	523
21.4.1	Kamera.....	524
21.4.2	Lidar	528
21.4.3	Semantische Merkmale	528
21.4.4	GNSS – Globales Navigationssatellitensystem	534
21.4.5	IMU und Raddrehzahlsensor..	536
21.5	Prädiktion	537
21.5.1	Bewegungsmodell.....	537
21.5.2	Ortswiedererkennung	538
21.6	Zustandsschätzung	540
21.6.1	Bayes-Filter	540
21.6.2	Bayes-Filter zur kartenbasierten Lokalisierung	541
21.6.3	Graph-SLAM	543
21.7	Multi-Session-Kartengenerierung	547
21.8	Lokalisierung: Beispielanwendungen	556
21.8.1	Lokalisierung mittels kostengünstiger Sensorik auf der Autobahn	557
21.8.2	Lokalisierung mithilfe geometrischer Primitive in urbanem Gelände.....	558
21.9	Anhang: Der Begriff der Pose	562
	Literatur	563

VI Digitale Infrastruktur

22	Digitale Karten im Navigation Data Standard Format	569
	<i>Katharina Jügle, Ralph Behrens und Roland Homeier</i>	
22.1	Ziele der Standardisierung	571
22.2	Merkmale des NDS-Standards	572
22.3	Struktur der Daten innerhalb einer NDS-Datenbank	573
22.4	NDS Building Blocks	574
22.4.1	Navigation und Map Display.....	574
22.4.2	Index Structures.....	578
22.4.3	Advanced Visualisation	579
22.5	NDS-Datenbankstruktur und Generalisierung	580
22.5.1	Datenbankstruktur und Partitionierung.....	580
22.5.2	Generalisierung.....	580
22.6	Aufbau der NDS-Datenbank	580
22.6.1	NDS DataScript und RDS	581
22.6.2	NDS-Format-Erweiterung.....	582
22.6.3	NDS-Datenbankwerkzeuge.....	582
22.7	Kartenlernen	582
22.7.1	SENSORIS als Übertragungsprotokoll.....	582
22.7.2	Aggregation im Sensor vs. Aggregation im Backend	583
22.7.3	Beispielattribut (Slopes).....	583
22.8	Zukunft des NDS-Standard	583
	Literatur	584
23	Vehicle-2-X	585
	<i>Frank Hofmann, Hendrik Fuchs, Ignacio Llatser Martí, Christian Zimmermann und Kurt Eckert</i>	
23.1	Grundlagen und Motivation	586
23.2	Standardisierung und Gremien	587
23.3	V2X Use Cases	588
23.3.1	V2X Roadmaps	588
23.3.2	Day1-Entwicklungsphase.....	589
23.3.3	Day2-Entwicklungsphase.....	590
23.3.4	Day3+-Entwicklungsphase.....	592
23.4	V2X-Systemkonzept	593
23.5	V2X-Datenübertragungstechnologien	595
23.5.1	Übersicht über die V2X-Kommunikationstechnologien	595
23.5.2	Technische Herausforderungen.....	597
23.5.3	Übertragungskanal und Frequenzzuordnung	598
23.5.4	V2X-Nachrichtenformate.....	600
23.6	Datensicherheit und Schutz der Privatheit	601
23.6.1	Sicherheitsprobleme.....	601
23.6.2	Aspekte der Privatheit	602
23.6.3	Schutzziele und Herausforderungen	602

23.6.4	Sicherheitsmaßnahmen	603
23.6.5	Stand der Technik und Umsetzung	605
23.7	V2X-Markteinführung und Ausblick	605
	Literatur	606

VII Aktoren für Fahrerassistenzsysteme

24	Lenksysteme für Fahrzeuge mit Querführungsassistenzsystemen oder automatisierten Fahrfunktionen	611
	<i>Thilo Bitzer, Heinz-Dieter Heitzer, Christoph Elbers und Michael Scholand</i>	
24.1	Bauarten von Lenksystemen für Pkw und Lkw	613
24.1.1	Blocklenkung	613
24.1.2	Zahnstangenlenkung	615
24.1.3	Steer-by-Wire	615
24.2	Servolenkungen	616
24.2.1	Hydraulische und elektrohydraulische Servolenkungen	616
24.2.2	Mechatronische Servolenkungen.....	618
24.2.3	Kombinierte Hydraulische und Mechatronische Servolenkungen.....	619
24.2.4	Mechatronische Steer-by-Wire-Systeme	619
24.3	Hinterachslenkungen für Pkw und Lkw	620
24.4	Grundlegende Lenkfunktionen für assistiertes und automatisiertes Fahren	623
24.4.1	Lenkmomentüberlagerung.....	623
24.4.2	Lenkwinkelüberlagerung.....	624
24.4.3	Lenkwinkelregelung	625
24.4.4	Kooperative Lenkwinkelregelung.....	625
24.4.5	Hinterachszzusatzlenkung.....	626
24.5	Sicherheitsanforderungen an Lenksysteme und Lenkfunktionen	627
24.5.1	Zulassungsrichtlinien.....	627
24.5.2	Betriebsfestigkeit von mechanischen Komponenten	627
24.5.3	Funktionale Sicherheit elektrischer und elektronischer Systeme	629
24.5.4	ASIL-Einstufung von Lenkfunktionen	629
24.5.5	Cyber-Security	630
24.6	Sicherheitskonzepte für mechatronische Lenksysteme	631
24.6.1	Fail-Safe- und Fail-Operational-Konzepte	631
24.6.2	Fehlertoleranz	631
24.6.3	Ausführungsbeispiele.....	633
24.7	Systemintegration auf Fahrzeugebene	637
24.7.1	Systemhierarchie/Systemarchitektur.....	638
24.7.2	Lenksystemschnittstellen.....	640
24.8	Zusammenfassung und Ausblick	641
	Literatur	641
25	Elektronische Bremssysteme	643
	<i>Paul Linhoff, Stefan Drumm, Thorsten Ullrich und Bernhard Schmid</i>	
25.1	Das Pkw-Bremssystem	644
25.1.1	Das Bremssystem als Fahrzeug-Subsystem	644
25.1.2	Das Bremssystem als eine der Wirkungsketten zur Fahrzeugkontrolle.....	644

Inhaltsverzeichnis

25.1.3	Elektrifizierung des Fahrzeugantriebs und automatisiertes Fahren	645
25.1.4	Sense-Plan-Act-Strukturen	645
25.1.5	Die Hauptfunktionen des Bremssystems	645
25.1.6	Nebenfunktionen des Bremssystems	646
25.1.7	Systemumfang des Bremssystems, Funktionsblöcke, System-Ein- und Ausgänge	647
25.2	Entwicklungsstufen der Pkw-Bremssysteme	647
25.2.1	Konventionelles Bremssystem mit Vakumbremeskraftverstärker	647
25.2.2	Elektro-Booster-basiertes Bremssystem	649
25.2.3	Elektrohydraulisches By-Wire-Bremssystem	651
25.2.4	Elektromechanisches By-Wire-Bremssystem	653
25.3	Der Einfluss der Automatisierung der Fahrzeugführung auf die Entwicklung der Bremssysteme	657
25.3.1	Vom Automatisierungsgrad abhängige Anforderungen an Bremssysteme	657
25.3.2	Redundanzkonzepte für Bremssysteme	665
25.4	Ausblick	666
	Literatur	667

Band II**VIII Mensch-Maschine-Schnittstellen für Fahrerassistenzsysteme**

26	Nutzergerechte Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion von Fahrerassistenzsystemen	671
	<i>Klaus Bengler und Lutz Eckstein</i>	
26.1	Einführung und Motivation	672
26.2	Nutzer und nutzergerechte Gestaltung	673
26.3	MMI für Fahrerassistenzsysteme im Vergleich zu Informations- und Kommunikationssystemen	677
26.4	MMI für Informations- und Warnfunktionen	679
26.4.1	Definition und Klassifikation	679
26.4.2	Gestaltungsregeln	681
26.4.3	Ausführungsbeispiele	682
26.5	MMI für Funktionen zur Längs- und Querführung	684
26.6	Ausblick und Weiterentwicklungen	685
	Literatur	686
27	Bedienelemente für Fahrerassistenzsysteme	689
	<i>Matthias Pfromm und Klaus Bengler</i>	
27.1	Gestaltung von Bedienelementen	690
27.1.1	Systemspezifische Anforderungen	690
27.1.2	Festlegung der Bedienteilart	691
27.1.3	Räumliche Anordnung und geometrische Integration	692
27.1.4	Rückmeldung, Bedienrichtung, Haptik und Kennzeichnung	693

27.2	Umsetzung von Bedienelementen	695
27.2.1	Gebräuchliche Lösungen	695
27.2.2	Zukunftsorientierte Konzepte	697
27.3	Fazit	698
	Literatur	698
28	Insassenzustandserkennung	701
	<i>Stephan Cieler, Fabian Faller, Moritz Groh und Manfred Wilck</i>	
28.1	Warum Insassenzustandserkennung?	703
28.2	Insassenzustandserkennung in der Praxis – sieben Anwendungsfelder	704
28.2.1	Regulation der Wachheit	704
28.2.2	Aufmerksamkeitsregulation und Ablenkungsvermeidung.....	705
28.2.3	Regulation affektiver Zustände.....	705
28.2.4	Erkennen von Nutzerabsichten.....	706
28.2.5	Beanspruchungsmanagement und Gesundheitsanwendungen.....	707
28.2.6	Anwesenheitserkennung und -klassifizierung.....	707
28.2.7	Transitionen zwischen Automatisierungsstufen	708
28.3	Vom Nutzer zum Nutzermodell	708
28.3.1	Operationalisierung von Nutzerzuständen	708
28.3.2	Nutzermodelle als Abstraktion der Realität.....	709
28.4	Sensorik und Messgrößen	710
28.4.1	Kontaktlose Sensorsysteme und Referenzmesstechnik.....	710
28.4.2	Kamerasysteme.....	711
28.4.3	Radarsysteme	711
28.4.4	Auswahl des Sensorsystems.....	712
28.5	Insassenzustandsmodellierung	713
28.5.1	Grundwahrheit.....	713
28.5.2	Wissensbasierte Modelle.....	713
28.5.3	Lernende, datengetriebene Modelle	714
28.6	Anwendungsbeispiel: Anwesenheitserkennung von Kindern	716
	Literatur	718
29	Menschliches Verhalten als Grundlage für die Situations- und Risikobewertung	723
	<i>Sascha Knake-Langhorst, Mandy Dotzauer, Kay Gimm, Marek Junghans, Hagen Saul, Caroline Schießl und Meng Zhang</i>	
29.1	Einführung	725
29.1.1	Sicherheit und Effizienz in komplexen verkehrlichen Räumen.....	725
29.1.2	Vom Fahrenden zum Verkehrsteilnehmenden.....	725
29.2	Methoden zur messtechnischen Erfassung verkehrlichen Verhaltens	726
29.2.1	Beobachtungsformen des Verkehrsablaufes	726
29.2.2	Anforderungen an messtechnische Erfassung verkehrlichen Verhaltens.....	728
29.2.3	Anwendung von Sensortechnologien im Spiegel der Anforderungen	729
29.2.4	Reflexion bekannter Systemansätze zur Verkehrsbeobachtung	732
29.3	Methoden für die Bewertung verkehrlicher Situationen	734
29.3.1	Risikohemmende und -begünstigende Faktoren	734
29.3.2	Bekannte Ansätze aus der Verkehrskonflikttechnik	736

29.4	Verkehr verstehen, beschreiben und Risiken bestimmen.....	739
29.4.1	Verkehr verstehen und beschreiben.....	739
29.4.2	Prädiktion von Trajektorien von Verkehrsteilnehmenden.....	743
29.4.3	Ableitung von Risikopotenzialen	745
29.5	Nutzung im Bereich Assistenz und Automation.....	748
29.5.1	Konzepte zur Erhöhung der Sicherheit und Effizienz im Verkehr.....	748
29.5.2	Architekturkonzepte für das automatisierte und vernetzte Fahren in komplexen urbanen Räumen	750
29.6	Zusammenfassung & Ausblick.....	751
	Literatur	752

IX Fahrerassistenzsysteme auf Bahnführungs- und Navigationsebene

30	Sichtverbesserungssysteme und Signaleinrichtungen.....	761
	<i>Tran Quoc Khanh, Jonas Kobbert und Timo Singer</i>	
30.1	Einleitung.....	763
30.2	Grundlagen	764
30.2.1	Lichtverhältnisse	764
30.2.2	Kontraste und Kontrastwahrnehmung.....	765
30.2.3	Blendung.....	766
30.3	Funktionsweise von Lichtquellen	768
30.3.1	Halogenglühlampen.....	768
30.3.2	Xenon-Lampen	769
30.3.3	Halbleiter-LED-Lichtquellen.....	769
30.3.4	Halbleiterlaser	770
30.3.5	OLED	771
30.4	Lichtbasierte Fahrerassistenzsysteme	773
30.4.1	Abbiegelicht/statisches Kurvenlicht	773
30.4.2	Dynamisches Kurvenlicht.....	774
30.4.3	Fernlichtassistent	775
30.4.4	Adaptive Lichtverteilungen.....	775
30.4.5	Matrix-Beam/blendfreies Fernlicht.....	776
30.4.6	Markierungslicht	779
30.4.7	Hochauflösende Scheinwerfer und Fahrbahnprojektionen.....	779
30.5	Scheinwerferbewertungssysteme.....	781
30.6	Aktuelle Problemstellungen der Lichttechnik	784
30.6.1	Scheinwerfereinstellung.....	784
30.6.2	Scheinwerferreinigung	785
30.7	Lichtsignale als Bestandteil einer neuartigen Mensch-Maschine-Schnittstelle für hochautomatisierte Fahrzeuge	786
30.7.1	Neuartige Lichtsignalkonzepte für hochautomatisierte Fahrzeuge	786
30.7.2	Zusätzliche Signalleuchten oder Lichtstreifen	788
30.7.3	Display-basierte Signaleinrichtungen	788
30.7.4	Fahrbahnprojektionen	789
30.7.5	Zusammenfassung und Diskussion.....	789
30.8	Ausblick	790
	Literatur	790

31	Niedergeschwindigkeitsassistenz	793
	<i>Ahmed Benmimoun und Sebastian Klaudt</i>	
31.1	Einleitung	794
31.2	Klassifizierung der Assistenz- und Automatisierungssysteme für den Niedergeschwindigkeitsbereich	794
31.3	Historische Entwicklung der Fahrerassistenz für den Niedergeschwindigkeitsbereich	796
31.4	Technische Realisierung	797
31.4.1	Parkanwendungen	797
31.4.2	Rückwärtsfahren und Rangieren	805
31.4.3	Fahren mit Anhänger	808
31.4.4	Umfeldwahrnehmung/Umfeldmodellierung	809
31.4.5	Trajektorienplanung	812
31.4.6	Ausführung	815
31.5	Ausblick	817
	Literatur	819
32	Längsregelung	821
	<i>Hermann Winner und Jens Desens</i>	
32.1	Einleitung	823
32.2	Funktionsdefinition von ACC und funktionale Anforderungen	823
32.2.1	Referenz zur ISO-Norm zu ACC	823
32.2.2	Definitionen	824
32.2.3	Funktionsanforderungen für FSR-ACC nach ISO 15622	825
32.3	Systemstruktur	827
32.3.1	Beispiel MercedesBenz DISTRONIC	828
32.3.2	Funktionsabstufungen	829
32.4	ACC-Zustandsmanagement und Mensch-Maschine-Schnittstelle	829
32.4.1	Systemzustände und Zustandsübergänge	829
32.4.2	Bedienelemente mit Ausführungsbeispielen	832
32.4.3	Anzeigeelemente mit Ausführungsbeispielen	833
32.5	Zielobjekterkennung für ACC	835
32.5.1	Anforderungen an die Umfeldsensorik	835
32.5.2	Messbereiche und zugehörige Anforderungen	835
32.6	Zielauswahl	838
32.6.1	Bestimmung der Kurskrümmung	839
32.6.2	Kursprädiktion	840
32.6.3	Fahrkorridor	841
32.6.4	Weitere Kriterien für die Zielauswahl	843
32.6.5	Grenzen der Zielauswahl	843
32.7	Folgeregelung	844
32.8	Regleranpassungen	846
32.8.1	Zielverluststrategien und Kurvenregelung	846
32.8.2	Annäherungsstrategien	847
32.8.3	Überholunterstützung	848
32.8.4	Reaktion auf stehende Ziele	848

32.8.5	Anhalteregelung, Spezifika der Low-Speed-Regelung	849
32.9	Beschleunigungsregelung und Aktorik.....	849
32.9.1	Grundstruktur und Koordination der Aktorik	849
32.9.2	Bremse.....	850
32.9.3	Antrieb	853
32.10	Funktionale Erweiterungen.....	855
32.10.1	Berücksichtigung des Verbots des Rechtsüberholens.....	855
32.10.2	Anpassung der Wunschgeschwindigkeit an die zulässige Höchstgeschwindigkeit	855
32.10.3	Geschwindigkeitsanpassung an den Streckenverlauf.....	855
32.11	Nutzungs- und Sicherheitsphilosophie	856
32.12	Besonderheiten für kombinierte Längs- und Querregelung	857
32.13	Ausblick	857
	Literatur	857
33	Querführungsassistentz.....	859
	<i>Dirk Wisselmann, Arne Bartels, Felix Fahrenkrog und Gregor Nitz</i>	
33.1	Motivation	860
33.2	Anforderungen	860
33.3	Klassifikation.....	861
33.4	Vorschriften, Normen und Prüfungen	863
33.5	Systemkomponenten	864
33.5.1	Umfeldsensorik.....	865
33.5.2	Signalverarbeitung.....	866
33.5.3	Funktionsmodul LDW/LKA	867
33.5.4	Fahrerinformation.....	870
33.5.5	Aktoren	873
33.5.6	Statusanzeige und Bedienelemente	874
33.6	Beispielhafte Umsetzungen	874
33.6.1	BMW „Driving Assistant Professional“	876
33.6.2	Volkswagen „Lane Assist“	877
33.7	Sicherheitsgewinn	878
33.8	Systembeurteilung durch Fachpresse und Verbraucherschutz	879
33.9	Ausblick	879
	Literatur	880
34	Integrierte Quer- und Längsregelung.....	883
	<i>Christian Rathgeber, Dirk Odenthal und Norbert Nitzsche</i>	
34.1	Einleitung.....	885
34.2	Drei-Ebenen-Modell des kooperativen und autonomen Fahrens	889
34.3	Fahrzeugmodelle	892
34.3.1	Lenkung.....	892
34.3.2	Einspurmodell	893
34.3.3	Längsdynamik	894
34.3.4	Kinematik	896
34.4	Bahnführungsebene	896
34.4.1	Trajektorienplanung.....	896

34.4.2	Trajektorienfolgeregelung	897
34.5	Fahrzeugführungsebene längs/quer	900
34.5.1	Störgrößenbeobachter (disturbance observer) – Grundstruktur	900
34.5.2	Einstellbare stationäre Genauigkeit	902
34.5.3	Selektive Kompensation von Störungen	903
34.5.4	Krümmungs-Störgrößenbeobachter	904
34.5.5	Längsbeschleunigungs-Störgrößenbeobachter	905
34.5.6	Kooperativer Lenkwinkelregler mit Störgrößenbeobachter	905
34.5.7	Ansteuerung Antrieb und Bremse	907
34.6	Applikation und experimentelle Validierung	907
34.6.1	Funktionsausprägung	907
34.6.2	Folge- und Störunterdrückungsverhalten	908
34.6.3	Kooperativität und Übergangsverhalten	910
34.7	Fazit und Ausblick	911
	Literatur	912
35	Motorrad-Fahrassistenzsysteme	915
	<i>Raphael Pleß, Andreas Georgi, Jonas Lichtenthäler, Gerald Matschl und Sebastian Will</i>	
35.1	Einleitung	917
35.2	Grundlagen Motorraddynamik	918
35.2.1	Stabilisierung und Gleichgewichtslagen	918
35.2.2	Manövrierbarkeit und Handling	921
35.2.3	Dynamische Instabilitäten	923
35.2.4	Besondere Anforderungen an Motorrad-Fahrassistenzsysteme	923
35.3	Stabilisierungsassistenz	924
35.3.1	Antiblockiersystem	925
35.3.2	Antriebsschlupfregelung/Traktionskontrolle	927
35.3.3	Systemerweiterungen der Radregelsysteme	928
35.3.4	Sensorik und Regelung kurventauglicher Radregelsysteme	930
35.3.5	Rad-Abhebeerkennung	932
35.3.6	Verringerung seitlichen Rutschens	933
35.4	Assistenzsysteme auf Bahnführungsebene	934
35.4.1	Adaptive Cruise Control (ACC)	934
35.4.2	Autonomous Emergency Brake (AEB)	937
35.4.3	Side View Assist (SVA)	939
35.4.4	Ausblick Bahnführungsassistenz längs und quer	940
35.5	Human Machine Interface (HMI)	941
35.6	Konnektivität	942
35.6.1	Lokalisierung	942
35.6.2	Antennen	943
35.7	Entwicklungs- und Absicherungsmethoden	943
35.7.1	Erweiterung der ISO26262 für Motorräder	944
35.7.2	Motorrad-Fahrsimulatoren	945
35.8	Fazit & Ausblick	949
	Literatur	949

36	Fahrerassistenzsysteme im Nutzfahrzeug	951
	<i>Christian Ballarin, Felix Manuel Reisgys, Ingo Scherhauser und Christoph Tresp</i>	
36.1	Überblick	955
36.1.1	Motivation	955
36.1.2	Historie	956
36.1.3	Gesetzgebung	959
36.2	Unterschiede zwischen Lkw und Pkw	960
36.2.1	Fahrende und Nutzungszeit	960
36.2.2	Fahrdynamik und Use Cases	960
36.2.3	Sichtfeld und Sensorik	961
36.3	System- und Sicherheitskonzepte	962
36.3.1	Auslegung von Fahrerassistenzsystemen für Nutzfahrzeuge	962
36.3.2	Systemarchitektur	963
36.4	Fahrerassistenzsysteme im Serieneinsatz	966
36.4.1	Informierende und warnende Funktionen	966
36.4.2	In unfallgeneigten Situationen temporär eingreifende Funktionen	969
36.4.3	Kontinuierlich automatisierende Funktionen	973
36.5	Testverfahren	975
36.5.1	Test- und Freigabeprozesse	975
36.5.2	Testziele und Testumgebungen	976
36.5.3	Besonderheiten bei Nutzfahrzeugen	976
36.6	Zukünftige Entwicklungen	977
36.6.1	Vision Zero	977
36.6.2	Sensoren und Anwendungen	977
36.6.3	Fahrerloses Fahren	983
	Literatur	984
37	Unterstützung von Fahrfunktionen durch die digitale Karte	987
	<i>Roland Homeier, Roland Jentsch, Katharina Jügle, Benjamin Lippelt und Werner Pöchmüller</i>	
37.1	Einführung	989
37.1.1	Karte in der Navigation	989
37.1.2	Karte in Fahrerassistenz- und hochautomatisierten Systemen	989
37.1.3	Schichtenmodell der Karte	990
37.2	Navigation	991
37.2.1	Funktionen der Navigation	991
37.3	Cloud-Services	993
37.3.1	Eigenschaften eines Cloud Backends	993
37.3.2	Technische Realisierung eines Cloud Backends	995
37.3.3	Virtualisierung & Container	995
37.3.4	Technische Besonderheiten von Cloud-Services	997
37.3.5	Internet der Dinge	999
37.3.6	Edge Computing	1000
37.3.7	Cloud-Services in der Praxis	1001
37.4	Unterstützung durch Smartphone-Anbindung im Automobil	1002
37.4.1	Motivation der Smartphone-Integration im Automobil	1002
37.4.2	Möglichkeiten der Smartphone-Integration	1003

37.4.3	Zukunft der Smartphone-Anbindung.....	1004
37.5	Safety/funktionale Sicherheit	1005
37.5.1	Absicherung der Kartenfunktion.....	1005
37.5.2	Sicherheitsrelevante Attribute und Profile	1006
37.6	Elektronischer Horizont	1006
37.6.1	Definition	1006
37.6.2	Elektronischer Horizont für Fahrerassistenzsysteme.....	1007
37.6.3	Elektronischer Horizont für automatisiertes Fahren.....	1009
37.6.4	Relevante Karteninhalte	1012
37.6.5	Repräsentation in ADASIS Version 3.....	1013
37.6.6	Einbindung der Navigationsroute in den Horizont	1013
37.6.7	Kartenbereitstellung im Fahrzeug	1014
37.7	Steuergeräte für Navigation und Horizont	1015
37.7.1	E/E-Architekturen in Fahrzeugen	1015
37.7.2	Steuergeräte zum Tragen der Horizont-Funktion	1016
37.7.3	Zusammenfassung	1018
	Literatur	1018

X Automatisiertes Fahren

38	Human Factors: Level 3+	1021
	<i>Klaus Bengler, Johanna Josten und Claus Marberger</i>	
38.1	Einführung	1022
38.2	Kontrollübergaben als sicherheitsrelevanter Aspekt von Level-3-Funktionen	1022
38.3	Vertrauen und Level-3-Automation	1024
38.4	Innenraumgestaltung	1026
38.5	Aspekte von Komfort und Diskomfort bei L3+-Automatisierung	1026
38.5.1	Somatosensorische Auswirkungen der Fahrzeugbewegung	1027
38.5.2	Reisefortschritt	1027
38.5.3	Sicherheitsgefühl	1028
38.6	Kontrollverlust	1028
38.7	Sozialer Einfluss	1029
38.8	Einfluss fahrfremder Tätigkeiten	1029
38.9	Reisekrankheit	1029
38.10	Nutzerakzeptanz von Automationsfunktionen (L1-L3) bis hin zu Akzeptanz neuer Mobilitätsangebote (L4)	1031
38.11	Zusammenfassung und Ausblick	1031
	Literatur	1032
39	Architektursichten für Fahrzeugautomatisierungssysteme	1035
	<i>Marcus Nolte und Markus Maurer</i>	
39.1	Einleitung	1037
39.2	Motivation: Interdisziplinäre Herausforderungen für die Sicherheit automatisierter Fahrzeugsysteme	1039
39.3	Terminologie	1042

39.4	Blickwinkel automatisiertes Fahren: Ausgewählte Beispiele zu Mehrsichtenarchitekturen.....	1047
39.4.1	Ursprünge verschiedener Systemsichten auf automatisierte Fahrzeuge.....	1047
39.4.2	Ausgewählte Ansätze zur Formulierung von Systemsichten auf automatisierte Fahrzeuge.....	1049
39.4.3	Zwischenfazit.....	1053
39.5	Blickwinkel Systems Engineering: Ausgewählte Beispiele zu Architektur-Frameworks aus dem (MB)SE.....	1054
39.5.1	Generische Architektur-Frameworks	1054
39.5.2	MBSE-motivierte Architektur-Frameworks mit Bezug zur Fahrzeugtechnik.....	1057
39.5.3	Zusammenfassung bestehender MBSE-basierten Architektur-Frameworks mit fahrzeugtechnischem Bezug	1059
39.5.4	Zusammenfassung	1061
39.6	Beispielszenario und -vorgehen im Kontext automatisierter Fahrzeugsysteme.....	1061
39.6.1	Beispielszenario	1062
39.6.2	Relevante Interessengruppen oder Stakeholder.....	1063
39.6.3	Motivation eines Architektur-Frameworks für autonome Fahrzeuge.....	1063
39.6.4	Beispielsichten	1066
39.6.5	Zusammenfassung	1072
39.7	Fazit und Ausblick.....	1073
	Literatur	1073
40	Sicherheit und Risiko – ein Beitrag zur Bedeutung grundlegender Begriffe.....	1077
	<i>Nayel Fabian Salem, Sophie Le Page, Jason Millar, Philipp Junietz, Marcus Nolte, Robert Graubohm und Markus Maurer</i>	
40.1	Einleitung.....	1079
40.2	Die vielen Bedeutungen und Verwendungen des Begriffs „Sicherheit“	1082
40.2.1	Die Verwendung des Begriffs „Sicherheit“ in Rahmenwerken zur Absicherung automatisierter Fahrzeuge.....	1083
40.2.2	Die Verwendung des Begriffs „Sicherheit“ durch weitere Stakeholder	1098
40.2.3	Schlussfolgerungen zu den Bedeutungen und Verwendungen des Begriffs „Sicherheit“	1103
40.3	Fragen über mit dem Begriff „Sicherheit“ assoziierte Risiken	1105
40.4	Grenzen und Empfehlungen der Analyse.....	1107
40.5	Zusammenfassung und Ausblick.....	1108
	Literatur	1110
41	Taktische Sicherheit für autonome Fahrzeuge auf Autobahnen	1115
	<i>Hans-Peter Schöner und Jacobo Antona-Makoshi</i>	
41.1	Das Konzept der „Taktischen Sicherheit“	1116
41.2	Gefahrenvermeidung kompensiert Lücken des akuten Kollisionsschutzes.....	1116
41.3	Situationsparameter mit hohem Risikobeitrag	1120
41.4	Risikobewertung von Folgefahrten auf Autobahnen.....	1122
41.5	Schlussfolgerungen für Autobahntestszenarien autonomer Fahrzeuge	1128

41.6	Verlässliche Einbeziehung der Verkehrslage	1129
41.7	Herausfordernde Autobahnszenarien	1133
41.7.1	Schwierige alltägliche Verkehrssituationen	1135
41.7.2	Außergewöhnliche, gefährliche Verkehrssituationen	1137
41.7.3	Gefahrvolle vorhersehbare Risikosituationen	1138
41.7.4	Weite Vorausschau in unübersichtlichem Verkehr.....	1140
41.8	„Taktische Sicherheit“ ergänzt die Konzepte der „Passiven und Aktiven Sicherheit“	1142
	Literatur	1143
42	Verhaltensentscheidung für automatisches Fahren	1145
	<i>Piotr Spieker, Johannes Fischer und Christoph Stiller</i>	
42.1	Einführung	1146
42.2	Verfahren zur Verhaltensentscheidung	1146
42.2.1	Regelbasierte Verfahren	1146
42.2.2	Graphensuchverfahren	1154
42.2.3	Verfahren mit probabilistischen Zustands- und Beobachtungsmodellen.....	1159
42.2.4	Lernende Verfahren.....	1166
42.3	Architekturen für Verhaltensentscheidungen	1168
42.4	Anwendungsbeispiel Arbitrorkonzept	1170
42.4.1	Teststrecke	1171
42.4.2	Umweltmodell.....	1172
42.4.3	Manöverrepräsentation	1172
42.4.4	Verhaltensbausteine	1172
42.4.5	Kosten-Arbitrator	1174
42.4.6	Vollständiger Arbitrationsgraph.....	1175
42.4.7	Ergebnisse.....	1175
42.4.8	Fazit	1176
42.5	Zusammenfassung	1177
	Literatur	1178
43	Optimale Trajektorien	1183
	<i>Moritz Werling</i>	
43.1	Einleitung	1184
43.2	Dynamische Optimierung	1185
43.2.1	Optimalsteuerungsproblem	1185
43.2.2	Problemformulierung für Fahrerassistenz und automatisiertes Fahren	1185
43.3	Lösen des Optimalsteuerungsproblems	1186
43.3.1	Ansatz I: Variationsrechnung	1186
43.3.2	Ansatz II: Direkte Optimierungstechniken	1190
43.3.3	Ansatz III: Dynamische Programmierung	1194
43.4	Vergleich der Vorgehensweisen	1199
43.5	Optimierung auf dynamischem Horizont	1200
43.6	Fazit	1201
	Literatur	1202

44	KI für automatisiertes Fahren	1205
	<i>Eike Rehder und Marius Cordts</i>	
44.1	Einführung in maschinelles Lernen	1206
44.1.1	Lernen als Optimierungsproblem	1206
44.1.2	Übersicht über Lernverfahren	1207
44.1.3	Historie maschinelaler Lernverfahren im Fahrzeug	1209
44.2	Der Entwicklungszyklus	1210
44.2.1	Datensammlung	1211
44.2.2	Annotation	1212
44.2.3	Training	1213
44.2.4	Testen	1213
44.3	Anwendungen im Fahrzeug	1214
44.3.1	Semantische Segmentierung	1214
44.3.2	Objektdetektion	1216
44.3.3	Prädiktion	1218
44.3.4	Verhaltensgenerierung	1219
44.4	Umgang mit Unbekanntem	1220
44.4.1	Unsicherheitsschätzung	1220
44.4.2	Erkennung von Unbekanntem	1222
44.5	Ausblick	1224
	Literatur	1224
45	Besondere Anforderungen des automatisierten Fahrens an den Entwurf	1229
	<i>Robert Graubohm und Markus Maurer</i>	
45.1	Einleitung	1230
45.2	Entwurf mechatronischer Systeme	1231
45.3	Herausforderungen bei Konzeptspezifikationen im Themenfeld des automatisierten Fahrens	1232
45.3.1	Unsicherheiten während der Anforderungsdefinition	1234
45.3.2	Konzeptphase als Grundlage der Produktsicherheitsargumentation	1236
45.4	Referenzentwicklungsprozess für automatisierte Fahrzeuge	1237
45.4.1	V-Modell als domänenübergreifendes Prozessmodell	1238
45.4.2	Anforderungen an einen domänenspezifischen Referenzprozess	1239
45.4.3	Systematischer Entwurf automatisierter Fahrfunktionen und Fahrzeuge	1241
45.5	Anwendungsfall aFAS	1246
45.6	Zusammenfassung	1248
	Literatur	1249
46	Testkonzepte für die Absicherung von automatisiertem Fahren	1253
	<i>Lutz Eckstein und Hermann Winner</i>	
46.1	Einleitung und Abgrenzung	1254
46.2	Potenzial und Grenzen der Fahrerprobung	1255
46.2.1	Rolle der Fahrerprobung bei der Absicherung von Kraftfahrzeugen	1255
46.2.2	Sicherheitsnachweis der automatischen Fahrzeugführung über Fahrerprobung	1257
46.2.3	Silent Testing	1260

46.3	Konzept des szenarienbasierten Testens	1262
46.3.1	Idee und Genese von Verkehrsszenarien	1262
46.3.2	Systematische Sammlung und Nutzung von Verkehrsszenarien	1263
46.3.3	Grundzüge des Projektes PEGASUS	1266
46.3.4	Beschreibung und Relevanz von Szenarien	1268
46.3.5	Vergleichsmaßstab Mensch als Referenz	1271
46.3.6	Umsetzungsherausforderungen	1275
46.3.7	Lösungsansätze zu den Umsetzungsherausforderungen	1280
46.4	Fazit	1283
46.5	Ausblick	1284
	Literatur	1285
47	Wartbarkeit und Updatebarkeit von ADAS Software	1289
	<i>Mischa Möstl, Johannes Schlatow, Kai-Björn Gemlau und Rolf Ernst</i>	
47.1	Einleitung	1290
47.2	Stand der Technik	1292
47.2.1	Updates	1292
47.2.2	Monitoring	1293
47.3	Integration und Verifikation nicht-funktionaler Anforderungen	1295
47.3.1	Entkopplung von Daten und Zeit	1297
47.3.2	Runtime-Monitoring als Absicherungsmechanismus	1304
47.4	Fazit	1307
	Literatur	1307
48	ODD Güterverkehr	1309
	<i>Axel Gern, Michael Haag, Jens Kotte, Kai Furmans und Peter Vaughan Schmidt</i>	
48.1	Bedeutung des Straßengüterverkehrs	1310
48.2	Wie funktioniert Güterverkehr?	1310
48.3	Motivation für die Automatisierung des Güterverkehrs	1313
48.3.1	Ökonomische Faktoren	1313
48.3.2	Faktor Verkehrssicherheit	1316
48.3.3	Ökologische Faktoren	1318
48.4	Grundsätzliche Herausforderungen	1318
48.5	Der Aufbau eines hochautomatisierten Lkw	1320
48.5.1	Systemarchitektur	1320
48.5.2	Herausforderungen bei der Automatisierung eines Lkws	1323
48.6	Fallstudie „Middle Mile“	1324
48.6.1	Einführung in das Hub-to-Hub-Konzept	1325
48.6.2	Erweiterung um Platooning	1325
48.6.3	Wahl der Region und des Erstmarktes	1327
48.7	Fallstudie Nach- und Vorlauf „Last Mile Delivery“	1329
48.7.1	Beispiel autoCargo	1330
48.7.2	Beispiel efeu-Campus	1331
48.8	Zusammenfassung und Ausblick	1332
	Literatur	1332

49	Fahrerlose Shuttles als Ergänzung des öffentlichen Personennahverkehrs	1335
	<i>Timo Woopen und Lutz Eckstein</i>	
49.1	Einführung	1336
49.2	Stand der Technik	1337
49.2.1	Verfügbare Shuttle-Konzepte	1338
49.2.2	Pilotprojekte	1339
49.2.3	Forschungsaktivitäten	1340
49.3	Einordnung der Operational Design Domain	1341
49.3.1	Gesellschaftliche Ebene	1344
49.3.2	Regulatorische Ebene	1345
49.3.3	Ökonomische Ebene	1346
49.3.4	Ergonomische Ebene	1347
49.3.5	Technische Ebene	1349
49.4	Zusammenfassung und Ausblick	1353
	Literatur	1354
50	ODD Taxi	1357
	<i>Frank Diermeyer, Dominik Raudszus und Marc Wimmershoff</i>	
50.1	Einleitung	1359
50.2	Verkehrsarten und Begriffsdefinitionen	1360
50.3	Marktübersicht	1360
50.4	Taxi-spezifische Anforderungen	1363
50.4.1	Unbegrenzte Menge an Szenarien macht Freigabe aufwändiger	1363
50.4.2	Potenzziale und Grenzen von Road Side Units	1363
50.4.3	Aktuelle und umfassende Karte	1364
50.4.4	Umgang mit Baustellen	1364
50.4.5	Passagierinteraktionen	1365
50.4.6	Flottensteuerung	1366
50.4.7	Manöverplaner	1367
50.5	Technische Lösungsansätze	1367
50.5.1	Passenger-App	1367
50.5.2	Bildschirme im Fahrzeug und im Exterieur/HMI	1369
50.5.3	Leitwarte/Vehicle Telematics	1369
50.5.4	Flottensteuerung: Bedarfsprädiktion	1372
50.6	Auswirkungen des hochautomatisierten Taxi	1373
50.6.1	Gesellschaftliche Ebene	1373
50.6.2	Rechtliche Ebene	1373
50.6.3	Wirtschaftliche Ebene	1374
50.6.4	Nutzerebene	1375
50.6.5	Technische Ebene	1376
50.7	Ausblick	1377
	Literatur	1377

51	Fahrerzustandsbeobachtung beim automatisierten Fahren	1381
	<i>Claus Marberger und Dietrich Manstetten</i>	
51.1	Die Fahrerrolle beim automatisierten Fahren	1382
51.2	Bekannte Herausforderungen	1383
51.2.1	Daueraufmerksamkeit.....	1383
51.2.2	Müdigkeit.....	1383
51.2.3	Begrenztes Zeitfenster für Kontrollübernahmen	1384
51.2.4	Auswirkungen inadäquater mentaler Modelle	1384
51.3	Lösungsansätze	1385
51.3.1	Strategien für das teilautomatisierte Fahren (SAE L2)	1385
51.3.2	Strategien für das hochautomatisierte Fahren (SAE L3)	1387
51.4	Zur Bewertung der „Fahrerbereitschaft“	1387
51.4.1	Anforderungen von Übernahmesituationen.....	1389
51.4.2	Indikatoren zur Schätzung der Fahrerbereitschaft.....	1389
51.4.3	Komponenten der Fahrerbereitschaft.....	1390
51.5	Zur Auslegung der Fahrerzustandsbeobachtung.....	1393
51.6	Technologien zur Erfassung von Fahrerzustandsindikatoren.....	1394
51.7	Zusammenfassung und Ausblick.....	1397
	Literatur	1397
	Serviceteil	
	Stichwortverzeichnis	1403