

Florian Kramer

Herausgeber

Integrale Sicherheit von Kraftfahrzeugen

Biomechanik – Simulation –
Sicherheit im Entwicklungsprozess

4., erweiterte und korrigierte Auflage

Mit 346 Abbildungen und 55 Tabellen

Springer Vieweg

Inhaltsverzeichnis

Mitarbeiterverzeichnis	XV
1 Die integrale Sicherheit	1
1.1 Sicherheitswissenschaftliche Grundbegriffe	2
1.2 Die Fahrzeug-Sicherheit als Teilgebiet der Straßenverkehrssicherheit . . .	4
Literatur	9
2 Unfallforschung	11
2.1 Unfalldatenerhebung und -statistik	14
2.1.1 Zielsetzung der Unfallstatistik	14
2.1.2 Polizeilich erhobene Unfalldaten	14
2.1.3 In-depth-Untersuchungen	16
2.2 Unfallmechanik und -rekonstruktion	18
2.2.1 Rekonstruktion von Unfällen	19
2.2.2 Unfallschwere	21
2.3 Unfallanalyse . . .	22
2.3.1 Aufklärung der Unfallursachen . . .	23
2.3.2 Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen	24
2.4 Strukturierung des Unfallgeschehens	27
2.4.1 Unfallart	28
2.4.2 Unfalltyp	29
2.4.3 Kollisionsart	32
2.4.4 Kollisionstyp	37
2.4.5 Aufprallart	40
2.4.6 Aufpralltyp;	43
2.4.7 Belastungsart und Belastungstyp	45
2.4.8 Verletzungsart und Verletzungstyp	48
Literatur	50

3	Biomechanik	53
3.1	Anatomie des menschlichen Körpers und Verletzungsmechanismen . . .	54
3.1.1	Der Kopf	55
3.1.2	Die Wirbelsäule	60
3.1.3	Der Thorax	74
3.1.4	Das Abdomen und das Becken	85
3.1.5	Die Extremitäten	96
3.2	Verletzungsschwere und deren Monetarisierung	106
3.2.1	Verletzungsschweregrad	107
3.2.2	Verletzungsskalierung nach AIS	108
3.2.3	Andere Verletzungsskalierungen	110
3.2.4	Monetäre Bewertung der Verletzungsschwere	111
3.3	Verletzungs- und Schutzkriterien	113
3.3.1	Definitionen	114
3.3.2	Untersuchungsmethoden zur Ermittlung von Schutzkriterien . . .	118
3.3.3	Gesetzlich festgelegte Schutzkriterien	124
3.3.4	Schutzkriterien in der Diskussion	136
	Literatur	149
4	Sicherheitsmaßnahmen	157
4.1	Zielsetzung und Definitionen	158
4.1.1	Selbst- und Kontrahentenschutz	158
4.1.2	Wirkrichtung der Schutzmaßnahmen	159
4.2	Schutzprinzipien	160
4.2.1	Energetische Betrachtung	160
4.2.2	Wechselwirkung zwischen Frontal- und Seitenkollision	162
4.2.3	Kompatibilität	163
4.2.4	Prinzip des Geschwindigkeitsangleichs	172
4.2.5	Ride-Down-Effekt	174
4.2.6	Out-of-Position-Situationen	176
4.3	Maßnahmen zum Selbstschutz	178
4.3.1	Karosserie und Deformationsstruktur	179
4.3.2	Gurtsysteme und -komponenten	183
4.3.3	Airbag-Systeme und -Komponenten	199
4.3.4	Insassenschutz-Systeme	214
4.3.5	Selbstschutzmaßnahmen für Zweirad-Fahrer	226
4.3.6	Selbstschutzmaßnahmen für Nutzfahrzeuge	232

4.4	Maßnahmen zum Kontrahentenschutz	237
4.4.1	Maßnahmen am PKW zum Schutz äußerer Verkehrsteilnehmer	238
4.4.2	Maßnahmen am NFZ zum Schutz von PKW-Insassen und äußeren Verkehrsteilnehmern	242
4.5	Nachkollisionäre und sonstige Sicherheitsmaßnahmen	246
	Literatur	253
5	Sensorik zur Unfalldetektierung	257
5.1	Entwicklung der Sensorik	258
5.1.1	Mechanische Sensoren	258
5.1.2	Elektromechanische Sensoren	259
5.1.3	Elektronische Sensoren	264
5.2	Sensor-Anwendungen	271
5.2.1	Up-Front-Sensoren	273
5.2.2	Seiten-Sensoren	273
5.2.3	Systeme zur Insassen-Erkennung	275
5.2.4	PreCrash-Sensorik	280
5.2.5	Assistenz-Systeme	283
5.3	Randbedingungen	287
5.3.1	Airbag-Elektronik	287
5.3.2	Spannungsversorgung und Energiereserve	289
5.3.3	Sensoren sowie Steuerungs- und Überwachungseinheiten	290
5.3.4	Zündungseinrichtung	290
5.3.5	Speicherung von Ereignisdaten	291
5.3.6	Sicherheitsanforderungen an die Airbag-Elektronik	291
5.3.7	Datenübertragung	298
5.4	Systemintegration hinsichtlich aktiver und passiver Sicherheit	303
5.5	Künftige Entwicklungen und Erwartungshorizont	307
	Literatur	310
6	Überprüfung und Bewertung der Sicherheit	311
6.1	Quantifizierung der Straßenverkehrssicherheit	311
6.2	Gesetzgebung	315
6.2.1	Vorschriften in Deutschland und in Europa	316
6.2.2	Vorschriften in den USA und anderen Staaten	318
6.2.3	Zusammenfassung der Vorschriften in verschiedenen Ländern	319
6.2.4	Künftige Vorschriften zur passiven Sicherheit	330

6.3	Bewertung auf der Basis der Unfallstatistik	333
6.3.1	Highway Loss Data Institute Report	333
6.3.2	FOLKSAM-Report	333
6.3.3	Secondary Safety Rating System for Cars	334
6.4	Bewertung auf der Basis von experimentellen Untersuchungen	334
6.4.1	ADAC-Testverfahren zur passiven Sicherheit von PKW	337
6.4.2	Bewertung nach „auto motor und sport“ (ams-Test)	337
6.4.3	Crash Worthiness Rating System for Cars (CWRSC)	338
6.4.4	New Car Assessment Program (NCAP)	339
6.4.5	Die Quantifizierung der passiven Sicherheit für PKW-Insassen und das Sicherheitskriterien-System SiKriS	347
6.5	Verletzungsfolgekosten und Sachschäden	351
	Literatur	355
7	Experimentelle Simulation	357
7.1	Versuchsarten	358
7.1.1	Fahrzeugversuche	358
7.1.2	Schlittenversuche	364
7.1.3	Komponentenversuche	368
7.2	Versuchseinrichtungen und -anlagen	371
7.3	Anthropometrische Testpuppen (Dummys)	372
7.3.1	Anforderungen	373
7.3.2	Instrumentierung	374
7.3.3	Verwendete Dummys und ihr Einsatz	376
7.4	Messtechnik	381
7.4.1	Messkette	382
7.4.2	Messwert-Geber	... 382
7.4.3	Messdaten-Erfassung und -Verarbeitung	384
7.5	Film- und Beleuchtungstechnik	388
	Literatur	390
8	Rechnerische Simulation	393
8.1	Die Geschichte der rechnerischen Simulation	394
8.2	Berechnungsverfahren	395
8.2.1	Mehrkörper-Systeme mit dem Fokus „Insassensicherheit“	395
8.2.2	Mehrkörper-Systeme mit dem Fokus „Unfallrekonstruktion“	... 397
8.2.3	Finite-Elemente-Methode	398
8.2.4	Kontrollvolumen und Strömungssimulation	401
8.2.5	Gekoppelte Löser	403

8.2.6	Hardware-Architekturen	406
8.2.7	Kommerzielle Programmsysteme	406
8.3	Berechnungsmodelle	407
8.3.1	Unfallrekonstruktion	407
8.3.2	Strukturberechnung	408
8.3.3	Insassensimulation mit Dummy-Modellen	413
8.3.4	Simulation von Fußgänger- und Zweirad-Kollisionen	417
8.3.5	Simulationen mit Modellen des menschlichen Körpers	422
8.4	Aspekte der Crash-Simulation	425
8.4.1	Berechnungsbewertung	425
8.4.2	Rechnerische Optimierung im Bereich der passiven Sicherheit . .	426
8.4.3	Simulationsdaten-Management	428
	Literatur	429
9	Passive Sicherheit im Fahrzeugentwicklungsprozess	433
9.1	Prozessziele und Entwicklungsorganisation	434
9.2	Entwicklungsprozess und Entwicklungsphasen	435
9.3	Anforderungen an die passive Fahrzeugsicherheit	436
9.3.1	Gesetzliche Anforderungen	437
9.3.2	Rating-Anforderungen	439
9.3.3	Produkthaftungsanforderungen	439
9.3.4	Herstellerspezifische Anforderungen	440
9.4	Entwicklungsqualität und deren Absicherung	440
9.5	Rechnerische Simulation und experimentelle Absicherung im Entwicklungsablauf	442
9.5.1	Einsatz der Entwicklungswerkzeuge	444
9.5.2	Absicherung neuer Technologien und Werkstoffe	449
9.5.3	Möglichkeiten und Grenzen	450
9.6	Herausforderungen innerhalb der Projektarbeit	452
9.7	Sicherheitsinnovationen im Entwicklungsprozess	454
9.8	Integration der Unfallforschung in den Entwicklungsablauf am Beispiel Mercedes-Benz	456
	Literatur	459
	Sachverzeichnis	461