Uni. Bibl.
320

Heinz Burg | Andreas Moser (Hrsg.)

Handbuch Verkehrsunfall-rekonstruktion

Unfallaufnahme, Fahrdynamik, Simulation

2., aktualisierte Auflage

Mit 1283 Abbildungen und 152 Tabellen

PRAXIS | ATZ/MTZ-Fachbuch

Technische Universität Darmstadt
FG Fahrzeugtechnik
Inventarnummer:
1891

VIEWEG+
TEUBNER

Inhaltsverzeichnis

Vorwort V
Zu diesem Buch VII
DEKRA Stuttgart VII
DWG Nussdorf VII
University of Zilina VIII
University of Ljubljana IX
TU Graz IX
IbB Burgen X
Beiträge und Mitarbeiter XI
Autorenverzeichnis XV
Verzeichnis der Firmen und Organisationen XVII

Teil A: Grundlagen 1

A1 Allgemeine Anmerkungen zum Sachverständigenwesen 3
1 Einleitung 3
2 Arten von Sachverständigen 4
2.1 Sachverständige bei Gericht (Europa) 7
2.1.1 Strafprozess 7
2.1.2 Zivilprozess 7
2.2 Arten von Gutachten 8
2.2.1 Mündliche Gutachten 8
2.2.2 Schriftliche Gutachten 8
2.3 Detaillierte Hinweise und Grundlagen 9
2.3.1 Auftragsannahme 9
2.3.2 Grundlagen zur Gutachtenerstellung 10
2.4 Nachvollziehbarkeit 12
3 Naturwissenschaftliche Grundlagen 13
3.1 Naturgesetz 14
3.2 Theorie 15
3.3 Modell 15
3.4 Hypothese 16
3.5 Paradigma 16
3.6 Spekulation 16
3.7 Verifikation 16
3.8 Fiktion 17
3.9 Induktionsschluss 17
4 Aussagesicherheit 17
Literatur 19

Die Bedeutung der Unfallgutachten in der Strafuntersuchung 20

1 Aufgabe der Staatsanwaltschaft 20
2 Vorgehen der Strafuntersuchungsbehörden 20
2.1 Unfallhergang 20
2.1.1 Bewegungsablauf der beteiligten Fahrzeuge und Fussgänger 20
2.1.2 Geschwindigkeit 21
2.1.3 Synchronisation der Bewegungsabläufe der beteiligten Fahrzeuge und Fussgänger 21
2.2 Unfallursache 21
2.3 Vermeidbarkeit Unfall (Kausalität) 22
2.3.1 Rechtslage 22
2.3.2 Beispiele aus der Praxis 22
3 Bedeutung Unfallgutachten in der Strafuntersuchung 23
4 Erwartungen an ein Unfallgutachten 23
4.1 Formelle Anforderungen an ein Unfallgutachten 23
4.2 Rekonstruktion Unfallablauf 24
4.3 Beurteilung von widersprechenden Darstellungen der Parteien zum Unfallhergang 25
4.4 Falsche Behauptungen als Erklärungen für den Unfall 25
4.4.1 Misslungenes Brems- oder Ausweichmanöver wegen eines Tieres .. 25
4.4.2 Unkorrektes Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer 25

A2 Unfallaufnahme und Datenerhebung 27

1 Einleitung 27
2 Arten von Unfalldaten 28
3 Dokumentation von objektiven Merkmalen 29
3.1 Zeitpunkt der Datenerhebung 29
3.2 Dokumentation von Unfalldaten 29
3.3 Fotografische Dokumentation 30
3.4 Geräte zur Sicherung von objektiven Merkmalen 35
3.5 Vermessen von Unfallstelle und Spurenlagen 36
3.5.1 Geräte und Verfahren zur Vermessung von Unfallstellen 36
3.5.2 Rechtwinkel-Koordinaten-Messverfahren 36
3.5.3 Dreieck-Messverfahren 37
3.5.4 Vermessung von Kurven und Bögen 38
3.5.5 Messtischverfahren 39
3.5.6 Totalstation 39
4 Photogrammetrie 40
4.1 Einleitung 40
4.2 Anwendung 41
4.3 Luftbild-Photogrammetrie 41
4.4 Nahbereichs-Photogrammetrie 41
4.5 Innere Orientierung 42
4.6 Äußere Orientierung 42
4.7 Die Perspektivische Projektion – Zentralprojektion 42
4.8 Kollineare Abbildung 43

4.9 Photogrammetrische Auswertung ... 44
4.9.1 Transformation eines Punktes ... 45
4.9.2 Erklärung der verwendeten Koordinatensysteme ... 45
4.9.3 Transformation eines Bildpunktes in einen Straßenpunkt ... 46
4.10 Streifenprojektion ... 47
4.10.1 Prinzip ... 47
4.10.2 Ablauf einer Messung ... 48
4.10.3 Berechnung der Oberflächenkoordinaten ... 48
4.11 Beispiele ... 49
4.12 Luftbilder/Orthofotos ... 52
4.13 Digitale Vermessung von Unfallstellen mit optimierter Skizzenerstellung . 53
Literatur ... 57

A3 Messtechnik ... 59

1 Einleitung ... 59
1.1 Verwendung von Messgeräten vor Gericht ... 59
2 Grundlagen der Messtechnik ... 59
2.1 Direkte Messung ... 59
2.2 Indirekte Messung ... 59
2.3 Eichung ... 60
2.4 Kalibrierung ... 60
2.5 Messbereich ... 61
2.6 Genauigkeit/Fehler ... 61
2.7 Abtastrate ... 61
2.8 Linearität ... 61
2.9 Offsetfehler ... 62
2.10 Aufzeichnungszeit ... 62
2.11 Auflösung ... 62
2.12 Speichertiefe ... 62
2.13 Effektivwert – RMS ... 62
3 Arten von Messgeräten ... 63
3.1 Wegmessung ... 63
3.2 Geschwindigkeitsmessung ... 63
3.3 Beschleunigungs-/Verzögerungsmessung ... 63
4 Messgeräteübersicht ... 64
4.1 XLMeter ... 64
4.2 PocketDAQ ... 64
4.3 PICDaq, PICDaq-GPS ... 65
4.4 Corrsys/Datron ... 65
4.5 Unfalldatenspeicher UDS ... 66
4.6 Motometer ... 66
4.7 VZM100 ... 67
4.8 VC2000/VC3000 ... 67
4.9 GPS ... 67
4.9.1 Methoden des DGPS ... 69
4.9.2 Galileo ... 69

4.10 OBD ... 70
4.11 Lackdickenmessung ... 70
Literatur ... 71

A4 Systematik der Fahrzeugtechnik ... 73

1 Systematik der Kraftfahrzeuge ... 73
2 Klasseneinteilung nach Vorschriften ... 75
3 Klasseneinteilung nach Marktgegebenheiten ... 76
3.1 Zweiradfahrzeuge ... 76
3.2 Vierradfahrzeuge ... 77
Literatur ... 78
4 Zur Berechnung der Kräfte zwischen Reifen und Fahrbahn ... 79
4.1 Einführung ... 79
4.2 Messtechnische Erfassung der Reifeneigenschaften ... 80
4.3 Mathematische Ersatzmodelle für Reifen ... 80
4.4 Modellbildung ... 81
Literatur ... 82
5 Grobe Einteilung der Reifenmodelle ... 83
5.1 Linearisierte Beschreibung ... 83
5.2 Nichtlineare Approximation gemessener Kennfelder ... 83
5.3 Einfache Deformationsmodelle ... 83
5.4 Strukturmodelle ... 83
5.5 Realisierte und angewandte Modelle nach Autoren ... 83
Literatur ... 84
6 Begriffe aus der Fahrdynamik nach DIN 70 000 ... 85

A5 Kinematik ... 89

1 Weg-Zeit-Analyse ... 89
1.1 Weg-Zeit-Funktionen ... 89
1.1.1 Gleichförmige Bewegung ... 89
1.1.2 Gleichmäßig beschleunigte Bewegung ... 90
1.1.3 Gleichmäßige Änderung der Beschleunigung ... 90
1.1.4 Translatorische Bewegung ... 90
1.1.5 Rotatorische Bewegung ... 91
2 Weg-Zeit-Diagramm ... 92
2.1 Einleitung ... 92
2.2 Einführung in die Thematik – Das Weg-Zeit-Diagramm ... 92
2.3 Grundlagen zur Verwendung des Weg-Zeit-Diagramms ... 93
2.4 Die Weg-Zeit-Analyse in der praktischen Anwendung ... 96
2.5 Zuordnung von Fahrbewegungen im Weg-Zeit-Diagramm ... 97
2.6 Vermeidbarkeitsbetrachtungen ... 99
2.7 Rechtliche Grundlagen der Vermeidbarkeitsbetrachtung ... 99
2.8 Räumliche Vermeidbarkeit ... 100
2.9 Zeitliche Vermeidbarkeit ... 101
2.9.1 Sichtbegrenzungslinien oder Sichtgrenzen ... 103
2.9.2 Sichtbegrenzungslinien bei Blick in einen Rückspiegel ... 104

3 Bremsvorgänge 105
3.1 Der Unterschied zwischen Theorie und Praxis 105
3.2 Verzögerung über der Zeit und über dem Weg 108
3.3 Bestimmung der mittleren Vollverzögerung von Kraftfahrzeugen bei der Zulassungsprüfung 111
3.4 Definitionen 112
Literatur 112
4 Schleudervorgang 113
4.1 Einleitung 113
4.2 Fallbeispiele 113
4.3 Berechnungsverfahren 115
4.4 Anwendung von Näherungsformeln 117
4.4.1 Anwendung des mittleren Schwimmwinkels und Teilbremsfaktors . 117
4.4.2 Formeln von Marquardt und McHenry 121
4.5 Spurverfolgung 122
4.5.1 Sehnenmodell 122
4.5.2 Modellverfeinerung 124
4.5.3 Lineares Modell 125
4.5.4 Ellipsen-Modell 125
5 Fahrvorgänge 126
5.1 Zeitlicher Ablauf eines Bremsvorgangs als zusammengesetzte Bewegung . 126
5.2 Berechnung des Gesamtweges aus der Anfangsgeschwindigkeit und Endgeschwindigkeit 128
5.3 Berechnung der Anfangsgeschwindigkeit aus Gesamtweg und Endgeschwindigkeit (Fahren auf Sicht oder halbe Sicht) 129
5.4 Berechnung der Reaktionszeit bei gegebener Anfangs- und Endgeschwindigkeit und gegebenem Gesamtweg 129
5.5 Berechnung der Bremsverzögerung bei gegebener Anfangsgeschwindigkeit und Gesamtweg 130
5.6 Berechnung der Anfangsgeschwindigkeit aus Gesamtzeit und Endgeschwindigkeit 130
5.7 Berechnung der Anfangsgeschwindigkeit aus Gesamtweg und Gesamtzeit 131
5.8 Einholvorgänge (Einbiegen – Auffahren) 131
5.8.1 Einholen nach dem Spurwechsel 131
5.8.2 Einholen nach dem Einbiegen 132
5.8.3 Berechnung der Differenzgeschwindigkeit 134
5.8.4 Berechnung des Tiefenabstandes 135
5.8.5 Berechnung der Reaktionsdauer und Beschleunigung des vorderen Fahrzeugs 136
5.8.6 Berechnung der Anfangsgeschwindigkeit des Auffahrenden 137
5.8.7 Berechnung der Reaktionszeit des Auffahrenden 137
5.8.8 Berechnung der Differenzgeschwindigkeit 137
5.8.9 Berechnung der Reaktionszeit und Bremsverzögerung 137
5.8.10 Vermeidbarkeitsbetrachtung 137
5.9 Losfahren-Umsetzen-Abbremsen 139
5.10 Die Kurvenfahrt von Fahrzeugen 141
5.10.1 Die Dynamik der Kurvenfahrt 141

5.10.2 Die fühlbare Querbeschleunigung 143
5.10.3 Der ausgenutzte Seitenreibwert 143
5.11 Der Spurwechselvorgang bzw. Ausweichvorgang 144
5.11.1 Gerade Straße 145
5.11.2 Gekrümmte Straße 148
5.12 Der Abbiegevorgang 150
6 Überholvorgang 153
6.1 Einleitende Erklärungen 153
6.2 Berechnungsverfahren 153
6.3 Einfache Abschätzungen 153
6.4 Formeln für geschlossene Lösungen 155
6.4.1 Überholen mit konstanter Geschwindigkeit 157
6.4.2 Überholen mit konstanter Beschleunigung aus gleicher Anfangsgeschwindigkeit wie der Überholte 158
6.4.3 Überholen mit konstanter Beschleunigung ab Überholbeginn mit einer Anfangsgeschwindigkeiten, die ungleich der des Überholten ist 160
6.4.4 Überholen mit konstanter Beschleunigung ab Überholbeginn mit einer Anfangsgeschwindigkeit, die ungleich der des Überholten ist. Überholter beschleunigt oder verzögert während des Überholvorgangs 160
6.5 Abbruch des Überholvorgangs 161
6.6 Mindestsichtweite für den Überholvorgang 163
Literatur 166
7 Ampelphasen 167

A6 Kinetik 171
1 Einleitung 171
2 Kinetische Berechnung der Bewegungen von Fahrzeugen/Gespannen 171
3 Fahrmodell 173
3.1 Koordinatensysteme 173
3.2 Die Berechnung der Radaufstandspunkte 175
3.3 Die Kräfte am freigeschnittenen Fahrzeug 176
3.4 Die Radkräfte 176
3.5 Feder- und Dämpferkräfte 177
3.6 Federanschläge 178
3.7 Radaufstandskräfte 178
3.8 Reifeneigenschaften 179
3.9 Das gebremste Rad 181
3.10 Fahrzeuge mit Anti-Blockier-System (ABS) 182
3.11 Das angetriebene Rad 182
3.12 Die Transformation der Reifenkräfte ins Inertialsystem 182
3.13 Der Luftwiderstand 183
3.14 Die Anhängerkupplungskräfte 183
3.15 Die Bewegungsgleichungen für das Fahrzeug 183
3.16 Die Integration der Bewegungsgleichungen 184

4 Das Anhängermodell ... 187
4.1 Der ungelenkte Anhänger ... 188
4.2 Sattelkraftfahrzeuge ... 190
4.3 Der gelenkte Anhänger ... 190
4.4 Die Vorgabe von Anfangsbedingungen bei Hängergespannen ... 193
4.4.1 Anfangsbedingungen für den ungelenkten Anhänger ... 194
4.4.2 Anfangsbedingungen für den gelenkten Anhänger ... 195
5 Dynamik von Kraftfahrzeugen ... 197
5.1 Gemessene Luftwiderstandsbeiwerte von Einspurfahrzeugen und anderen Fahrzeugen ... 197
5.2 Bremskraftverteilung Grundlagen ... 198
5.2.1 Berechnung des Bremsvorgangs eines Personenwagen ... 198
5.2.2 Grundlagen ... 198
5.2.3 Achskraftverteilungsdiagramm ... 198
5.2.4 Bremskraftverteilungsdiagramm ... 202
5.2.5 Bremskräfte im Bremskraftverteilungsdiagramm bei Steigerung der Bremswirkung ... 206
5.2.6 Einfluss der Beladung auf das Bremskraftverteilungsdiagramm ... 207
5.2.7 Bremskraft-Steuereinrichtungen ... 207
5.2.8 Einfluss der Motorbremswirkung auf das Bremskraftverteilungsdiagramm ... 208
5.2.9 Hinterradantrieb ... 208
5.2.10 Vorderradantrieb ... 209
5.2.11 Einfluss der Luftkräfte auf das Bremskraftverteilungsdiagramm ... 209
5.3 Zusammenhang zwischen Bremskraftverteilung und Fahrzeugtyp ... 210
5.3.1 Mittelmotor-Sportwagen ... 210
5.3.2 Oberklasse-Limousine ... 211
5.3.3 Mittelklassefahrzeug mit Vorderradantrieb ... 211
5.3.4 Allradgetriebenes Geländefahrzeug mit kurzem Radstand ... 212
5.3.5 Motorrad ... 213
Literatur ... 214

A7 Informationsaufnahme beim Kraftfahrer ... 217

1 Wahrnehmung und Sicherheitsverhalten ... 217
1.1 Einleitung ... 217
1.2 Senso-motorik ... 218
1.3 Kognition ... 219
1.4 Sensorik und Alterungsvorgang ... 222
1.5 Blickverhalten ... 225
1.6 Nutzbarer Sehfeldumfang ... 226
1.7 Folgerungen ... 228
Literaturhinweise ... 231
2 Informationsaufnahme beim Kraftfahrer ... 235
2.1 Einleitung ... 235
2.2 Definitionen ... 235
2.3 Reaktionspunkt ... 236
2.3.1 Visuelle Informationsaufnahme ... 238

2.4 Aufmerksamkeit (konzentrative – distributive) 239
2.5 Visuelles System 239
2.5.1 Akkomodationszeit 239
2.5.2 Verteilung der Sinneszellen auf der Netzhaut 239
2.5.3 Gesichtsfeld 240
2.5.4 Statische Sehschärfe 240
2.5.5 Dynamische Sehschärfe 240
2.6 Analytische Ermittlung des Gefahrenerkennungspunktes eines sich bewegenden Hindernisses mit Hilfe der Sehwinkeländerung 241
2.6.1 Einleitung 241
2.6.2 Wahrnehmung statischer Objekte 241
2.6.3 Tiefenwahrnehmung 241
2.6.4 Bewegungswahrnehmung 242
Literatur 250

A8 Vermeidbarkeitsbetrachtungen 251

1 Einleitung 251
2 Festlegung des Reaktionspunktes 252
3 Grundsätzliche Überlegungen zu den Vermeidbarkeitsmöglichkeiten 256
4 Berechnungsmöglichkeiten 256
Literatur 260

A9 Kollisionsmechanik 261

1 Einleitung 261
Literatur 263
2 Grundlagen 264
2.1 Newton'sche Axiome 264
2.1.1 Lex Prima: Trägheitsprinzip 264
2.1.2 Lex Seconda: Aktionsprinzip; Grundgesetz der Dynamik 264
2.1.3 Lex Tertia: Reaktionsprinzip; Wechselwirkungsprinzip 265
2.2 Kollisionsphasen 265
2.3 Erhaltungssätze 267
2.3.1 Impulserhaltung – Impulserhaltungssatz 267
2.3.2 Drallerhaltung – Drallerhaltungssatz 267
2.3.3 Energieerhaltungssatz 268
2.4 Stoßtheorien 269
2.4.1 Stoßtheorie nach Hertz und Saint Venant 269
2.4.2 Stoßtheorie nach Galilei, Huygens und Newton (klassische Stoßtheorie) 269
2.5 Ergänzungshypothesen zur klassischen Stoßtheorie 269
2.5.1 Stoßzahlhypothese nach Newton 269
2.5.2 Stosszahlhypothese nach Poisson 269
2.5.3 Richtungshypothese nach Marquard 269
2.5.4 Hypothese nach Slibar für Kollisionen ohne Abgleiten 270
2.5.5 Gleithypothese von Kudlich und später Böhm und Hörz 270
Literatur 270

3 Gerader zentraler Stoß ... 271
3.1 Realer Ablauf eines geraden zentralen Stoßes ... 275
3.2 Berechnung nach EDCrash bzw. Crash3 ... 278
Literatur ... 279
4 Grafische Verfahren ... 280
4.1 Antriebs-Balance-Verfahren ... 282
4.2 Rhomboid-Schnittverfahren ... 285
4.3 Gegenverkehrsunfall ... 288
Literatur ... 292
5 Rechnerische Verfahren ... 292
5.1 Zweidimensionaler exzentrischer Stoß ... 292
5.2 Dreidimensionaler exzentrischer Stoß ... 294
5.3 Vorwärtsrechnung ... 294
5.3.1 Physikalische Grundlagen ... 294
5.3.2 Stoßrechnung nach der Impuls- und Drallerhaltung ... 296
5.3.3 Impulserhaltung ... 296
5.3.4 Drallerhaltung ... 296
5.3.5 Kontaktpunktgeschwindigkeiten ... 296
5.3.6 Zusatzgleichungen, Stoßhypothesen ... 297
5.3.7 Restitution, Stoßziffer ... 297
5.3.8 Kollision ohne Abgleiten ... 297
5.3.9 Abgleitkollision ... 297
5.3.10 Reibungstheorie ... 298
5.3.11 Festlegung der Berührtangente bzw. -ebene, des Reibungsfaktors und der Stoßziffer in der Praxis ... 298
5.3.12 Zerreißung von Strukturen ... 301
5.3.13 Schlussfolgerung ... 305
5.4 Kontrollgrößen ... 305
5.4.1 Geschwindigkeitsänderung ... 305
5.4.2 Gierwinkel ... 305
5.4.3 Berührpunktsgeschwindigkeit ... 306
5.4.4 Differenz der Berührpunktsgeschwindigkeiten nach der Kollision ... 307
5.4.5 Der k-Faktor ... 307
5.4.6 Der Stoßantrieb ... 307
5.4.7 Die induzierten Giergeschwindigkeiten ... 308
5.4.8 Die Differenz der Giergeschwindigkeiten ... 308
5.4.9 Der Reibwert ... 308
5.4.10 Die Deformationsenergie ... 308
5.4.11 EES-Werte nach Massen- und Eindringtiefenverhältnis ... 309
5.4.12 Das „Verhältnis von Geschwindigkeitsänderung zu EES“ GEV ... 309
Literatur ... 310
6 Berechnung der Deformationsenergie aus Versuchen ... 311
6.1 EBS (Equivalent barrier speed) ... 313
6.2 EES (Energy equivalent speed) ... 313
6.3 Beispiel AREC 2003 – WH0327 ... 314
6.4 Deformationsprofil ... 314
Literatur ... 318

7 Kraftrechnung – Steifigkeitsbasierte Stoßmodelle 319
7.1 Ellipsoid Modell 319
7.1.1 Kompression – Restitution 319
7.1.2 Ellipsoid-Ellipsoid-Kontakt (Fahrzeug-Fahrzeug) 320
7.1.3 Ellipsoid-Ebenen-Kontakt (Fahrzeug-Untergrund) 321
7.1.4 Grundmodelle für Kontaktberechnungen 322
7.2 Mesh-Modell 323
7.2.1 Knoteneigenschaften 324
7.2.2 Kontakte zwischen Netz und Untergrund 325
7.2.3 Fahrzeug-Fahrzeug-Kontakte 326
Literatur 326
8 Zusammenhang zwischen EES, bleibender Deformation, Kollisionsdauer und Struktursteifigkeit 327
8.1 Einleitung 327
8.2 EES-Wert-Berechnung 327
8.3 Berechnung der Kollisionsdauer 330
8.4 Strukturformeln 332
8.4.1 Massenproportionale Rückverformung 334
8.4.2 Nicht massenproportionale Rückverformung 334
8.4.3 Definition einer Struktur mit nichtlinearer Kennlinie 336
8.5 Berechnung des EES-Wertes aus Unfallversuchen 339
8.6 Crash-Tests 342
8.6.1 Aus ams 342
8.6.2 Eigene Versuche zur HWS-Problematik 342
8.6.3 Dekra-Versuche 343
8.6.4 Schlussbemerkung 345

A10 Fußgängerunfälle 347

1 Einleitung 347
1.1 Unfallarten 347
1.2 Definitionen 350
2 Kinematik 352
2.1 Kontaktphase 353
2.2 Primärkontakt/Erstkontakt 353
2.3 Unterzieheffekt 354
2.4 Rotationsbewegungen 354
2.5 Aufschöpfen oder Aufladen 355
2.6 Flugphase 356
2.7 Rutschphase 357
2.8 Wurfweite 358
2.9 Längswurfweite beim vollen Frontalzusammenstoß 358
2.10 Längswurfweite bei hinein- oder herauslaufendem Fußgänger 362
2.11 Querwurfweite 365
2.12 Überfahren/Überrollen 366
2.13 Beispiel eines Unfalls durch Überfahren 366
2.14 Unfälle mit Überrollen 368
2.15 Geschwindigkeitsverlust des Kraftfahrzeugs 369

3 Bestimmung des Kollisionspunkts ... 370
3.1 Schrankenverfahren ... 371
Literatur ... 374
4 Daten für Berechnungen ... 375
4.1 Gehen ... 375
4.2 Schnell Gehen ... 376
4.3 Laufen ... 376
4.4 Rennen ... 377
Literatur ... 382

A11 Unfälle mit Zweirädern ... 383

1 Einleitung ... 383
2 Einteilung der Zweiräder ... 384
3 Statistik/Unfallforschung ... 385
4 Einlaufphase ... 388
4.1 Grundlagen zur Dynamik ... 388
4.2 Kurvenfahrt ... 388
4.3 Beschleunigung ... 389
4.4 Höchstgeschwindigkeit ... 391
4.5 Bremsen ... 392
4.6 Kippen ... 396
4.7 Ausweichen ... 397
5 Kollisionsphase ... 399
5.1 Crash-Versuche ... 399
5.2 Impulserhaltungssatz ... 403
5.3 Energieerhaltungssatz ... 403
6 Auslauf ... 406
Literatur ... 409

A12 Pkw-Pkw-Unfälle ... 411

1 Zum Straßenverkehr in Deutschland und in Europa ... 411
2 Qualitätssicherung durch Ringtests ... 416
3 Validierung/Verifikation von Rekonstruktionsprogrammen ... 419
4 Daten für Berechnungen ... 420
4.1 Anfahren und Beschleunigen ... 420
4.2 Bremsverzögerung ... 427
4.3 Ausrollen von Pkw ... 433
4.4 Reibungskoeffizienten ... 434
Literatur ... 437

A13 Unfälle mit Nutzfahrzeugen ... 439

1 Allgemeines ... 439
2 Tachographen ... 439
Literatur ... 442

A14 Unfälle mit land- oder forstwirtschaftlichen Fahrzeugen 443
1 Unfallursachen 443
2 Allgemeine Bemerkungen zur Technik von lof-Fahrzeugen 444
2.1 Allgemeine Tendenzen 444
2.2 Traktorenkonzepte 444
2.3 Ausblick 446
3 Rekonstruktionsgrundlagen 446
3.1 Sicherheitsvorschriften 448
3.2 Crash-Tests 448
Literatur 450

A15 Überschlagsunfälle 451
1 Einleitung 451
2 Allgemein 451
3 Überschlagsphasen 451
4 Arten von Überschlägen 453
4.1 Rollover mit Zusammenstoß 453
4.2 Rampen-Rollover 453
4.3 Verhakter Rollover (Trip over) 454
4.4 Fahrzeugdynamischer Rollover 454
4.5 Absturz 455
4.6 Überschlag nach vorne 455
5 Experimentelle Test- und Evaluierungsmethoden 456
5.1 SAE J2114 Dolly test (FMVSS 208) 456
5.2 FMVSS 216 Roofcrush (Dacheindrückung) 456
5.3 FMVSS 201 Occupant protection in interior impact (Insassenschutz) 457
5.4 Inverted Drop Test (Inverser Dachfalltest) 457
5.5 ADAC-Korkenzieher-(Corkscrew-)Test 458
5.6 Alternative Testprozeduren 458
5.7 Schlussbemerkung 460
Literatur 460

A16 Schienenfahrzeuge/Straßenbahnen 461
1 Geschichte der Straßenbahnen 461
2 Straßenbahntypen 461
2.1 Fahrerhaus 461
2.2 Bremsanlagen 463
2.3 Fahrdatenerfassung 465
3 Reaktion bei Notbremsvorgängen 468
Literatur 469

A17 Schadenaufklärung 471

1 Einführung 471
2 Begehensformen 473
2.1 Das vorsätzlich herbeigeführte Schadenereignis 473
2.2 Das fingierte Schadenereignis 473
2.3 Das fiktive Schadenereignis 473
2.4 Der provozierte Verkehrsunfall 473
2.5 Der ausgenutzte Verkehrsunfall 473
3 Kollisionsanordnungen und wirtschaftliches Interesse 474
3.1 Das vorsätzlich herbeigeführte Schadenereignis 474
3.2 Das fingierte Schadenereignis 481
3.3 Das fiktive Schadenereignis 484
3.4 Der provozierte Verkehrsunfall 486
3.5 Der ausgenutzte Verkehrsunfall 488
4 Daten und Informationen 494
4.1 Auswertung der Unterlagen 494
4.2 Weitere Informationen zum Geschehensablauf 495
4.3 Untersuchung und Dokumentation der beteiligten Fahrzeuge/Kollisionspartner 497
4.3.1 Übersichtsaufnahmen 500
4.3.2 Abbildungen zur Identifizierung und Individualisierung 501
4.3.3 Abbildungen zum technischen Zustand, zu technischen Details und zur Ausstattung 501
4.3.4 Abschnittsaufnahmen 503
4.3.5 Detailaufnahmen 505
4.3.6 Abbildungen mit Maßstab 508
4.4 Besichtigung, Dokumentation und Vermessung der Unfallstelle/Schadenörtlichkeit 515
5 Bewertung der Daten und Anknüpfungsinformationen 516
6 Methoden zur Schadenaufklärung aus technischer Sicht 516
6.1 Theoretische Untersuchungen 516
6.1.1 Photographische Verfahren (Bildüberlagerung) 516
6.1.2 Sonnenstand 524
6.1.3 Radkontaktspuren 526
6.1.4 Simulationsprogramme 542
6.2 Experimentelle Untersuchungen 545
6.2.1 Prinzipielle Untersuchungen 545
6.2.2 Spezielle Untersuchungen 548
6.2.3 Fahrzeugzusammenstellung/Ortstermin 553
7 Gutachtenerstellung 555
Literatur 557

A18 Insassensimulation 559

1 Einleitung 559
2 Fragestellungen 559
3 Simulationsmodelle 560

4 Simulation ... 561
4.1 Gelenke ... 562
4.2 Kontakte ... 563
4.3 Crash-Puls ... 564
4.4 Rückhaltesysteme ... 564
4.5 Verfahrensschritte ... 565
4.6 Innenraummodellierung ... 566
5 Ergebnisse ... 567
Literatur ... 568

A19 Biomechanik ... 569

1 Einleitung ... 569
2 Grundlagen der Anatomie ... 569
3 Belastungsgrößen – Klassifizierung der Verletzungsschwere ... 570
3.1 Abbreviated Injury Scale (AIS) ... 570
3.2 Die Verletzungsbeeinträchtigungsskala IIS (Injury Impairment Scale) ... 572
3.3 Der 3-ms-Wert ... 573
3.4 Das Kopf-Verletzungskriterium HIC (Head Injury Criterion) ... 573
3.5 Das Viskosekriterium VC (Viscous Criterion) ... 574
3.6 Das Hals-Verletzungskriterium NIC (Neck Injury Criterion) ... 574
4 Biomechanische Belastungsgrenzen ... 574
5 Beurteilung von Halswirbelsäulenverletzungen aus technischer Sicht ... 576
5.1 Allgemeine Ausführungen ... 576
5.2 Aufprallarten ... 577
5.2.1 Heckkollision ... 577
5.2.2 Frontalkollision ... 579
5.2.3 Seitenkollision ... 579
5.3 Belastungsgrenzen ... 581
5.4 Schweregrad der HWS-Verletzung und statistische Ergebnisse ... 582
Literatur ... 583

A20 Simulation und Animation ... 585

1 Einleitung ... 585
2 Simulation ... 586
2.1 Grenzen der Simulation ... 587
2.2 Verifikation ... 587
2.3 Ringversuche ... 588
2.4 Simulationsmodelle ... 588
2.4.1 Kinematische Simulation ... 588
2.4.2 Kinetische Simulation ... 589
3 Animation ... 589
4 Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung von Simulationsprogrammen ... 591
5 Nachvollziehbarkeit ... 591
Literatur ... 592

Teil B: Fallbeispiele 593

B1 Unfälle mit Tieren 595

1 Allgemeines 595
2 Daten für Berechnungen – Tiere 595
3 Pferde 596
3.1 Grundlagen 596
3.2 Die Gangarten der Pferde [8,9] 597
3.2.1 Der Schritt 598
3.2.2 Der Trab 599
3.2.3 Der Galopp (Canter) 600
3.2.4 Der Pass und der Tölt [10] 601
3.2.5 Rückwärtsrichten 601
3.3 Pferderassen [7,9] 602
3.4 Wert 605
3.5 Ausbildung 605
3.6 Ausrüstung 605
4 Falldarstellungen 608
5 Versuche 611
Literatur 611

B2 Unfälle mit Fußgängern 613

1 Sachverhalt 613
2 Auftrag 613
3 Objektive Merkmale 614
4 Unfallrekonstruktion 616
4.1 Vermeidbarkeit für den Pkw-Fahrer 618
5 Zusammenfassung 620

B3 Unfälle mit Zweiradfahrzeugen 621

Beispiel 1: Pkw kollidiert mit einem Fußgänger, der ein Fahrrad schiebt 621
1 Sachverhalt 621
2 Durchgeführte Maßnahmen/Aufgabenstellung/Lösungsweg 621
3 Objektive Merkmale 622
4 Analyse 626
4.1 Bewegungsabläufe/Kollision 626
4.2 Geschwindigkeitsberechnungen 627
4.3 Vermeidbarkeit für den Pkw-Fahrer 628

B4 Unfälle mit motorisierten Zweirädern 629

1 Pkw kollidiert mit vorfahrtsberechtigtem Krad 629
1.1 Sachverhalt 629
1.2 Durchgeführte Maßnahmen/Aufgabenstellung/Lösungsweg 629

1.3 Objektive Merkmale ... 630
1.3.1 Beschädigungen/technische Zustände ... 630
1.3.2 Unfallstelle/Endstände/Spuren ... 632
1.4 Analyse ... 635
1.4.1 Rekonstruktion der Bewegungsabläufe ... 635
1.4.2 Geschwindigkeiten ... 636
1.4.3 Weg-Zeit-Betrachtungen und Vermeidbarkeit ... 641

B5 Unfälle mit Pkw ... 645

1 Sachverhalt ... 645
2 Auftrag ... 645
3 Objektive Merkmale ... 645
4 Unfallrekonstruktion ... 647
5 Zusammenfassung ... 651

B6 Unfälle mit Kleintransportern ... 653

1 Sachverhalt ... 653
2 Durchgeführte Maßnahmen/Aufgabenstellung/Lösungsweg ... 653
3 Objektive Merkmale und sonstige Informationen ... 654
3.1 Beschädigungen ... 654
3.2 Unfallstelle/Endstände/Spuren ... 655
4 Analyse ... 657
4.1 Rekonstruktion der Bewegungsabläufe ... 657
4.2 Geschwindigkeiten ... 658
4.2.1 Kollisionsgeschwindigkeiten ... 658
4.2.2 Ausgangsgeschwindigkeiten ... 661
4.3 Weg-Zeit-Betrachtungen ... 663
4.4 Unfallursache ... 663

B7 Unfälle mit Nutzfahrzeugen ... 665

Reisebus kippt beim Abbiegen auf linke Seite ... 665
1 Sachverhalt ... 665
2 Durchgeführte Maßnahmen/Aufgabenstellung/Lösungsweg ... 665
3 Objektive Merkmale ... 666
3.1 Unfallstelle/Endpositionen/Spuren ... 666
3.2 Fahrzeugkenndaten/Beschädigungen ... 670
4 Technischer Zustand ... 671
5 Rekonstruktion des Bewegungsablaufes ... 675
5.1 Geschwindigkeit des Busses ... 676
5.2 Weg-Zeit-Verhalten und Vermeidbarkeit ... 678

Schwerlasttransporter schwenkt bei Kurvenfahrt aus und kollidiert mit einem entgegen kommenden Pkw ... 680
1 Sachverhalt ... 680
2 Auftrag ... 680

3 Objektive Merkmale 680
3.1 Merkmale am Sattelzug 682
3.2 Sichtverhältnisse für den Fahrer des Sattelzugs 683
4 Unfallrekonstruktion 685
5 Unfallvermeidung 686

Unfall Bus/Radfahrer 687
1 Bremsversuch auf dem Bus mit PocketDAQ 688
2 Spuren an den Fahrzeugen 689
3 Spuren auf der Fahrbahn 689
4 Geschwindigkeit des Busses 690

Auffahrkollision von Nutzfahrzeugen 691

B8 Unfälle mit land- oder forstwirtschaftlichen Fahrzeugen 695

Überholender Pkw kollidiert mit nach links abbiegendem Traktor 695
1 Sachverhalt 695
2 Auftrag 695
3 Objektive Merkmale 695
3.1 Besichtigung des Traktors 699
4 Unfallrekonstruktion 700
5 Unfallvermeidung 703
6 Zusammenfassung 703

B9 Unfälle mit Schienenfahrzeugen 705

1 Sachverhalt 705
2 Parteivorträge und sonstige Informationen 706
2.1 Klagevortrag 706
2.2 Beklagtenvortrag 707
2.3 Beweisaufnahme 707
3 Sachverständige Feststellungen und Ausführungen 707
3.1 Fahrdatenerfassung der Straßenbahn 707
3.2 Ortsbesichtigung und Erkennbarkeit des Blaulichts 708
3.3 Vergleich der Fahrdatenerfassung mit dem XLMeter 709
3.4 Kollision zwischen Straßenbahn und Polizeifahrzeug 710
3.5 Weg-Zeit-Berechnungen 711
4 Zusammenfassung 714

B10 Alleinunfälle 715

1 Einleitung 715
2 Fallbeispiel 1: Überschreiten der Kurvengrenzgeschwindigkeit 715
2.1 Ablauf 716
2.2 Augenschein, Rekonstruktion (alle Fahrzeuge sind Vergleichsfahrzeuge) 718
2.3 Unfalldynamische Grundlagen 719
2.4 Unfallanalyse (Hergang) 721
2.5 Sicherheitsgurte 724

2.6 Anhaltestrecken ... 725
2.7 Beurteilung der Fahrweise des BMW-Fahrers ... 725
2.8 Die Person des BMW-Fahrers ... 725
3 Fallbeispiel 2: „Flugunfall" ... 726
3.1 Unfalluntersuchung ... 726
4 Zusammenfassung ... 729

B11 Überschlagunfälle ... 731

Pkw kollidiert mit einem Geländewagen ... 731
1 Sachverhalt ... 731
2 Durchgeführte Maßnahmen/Aufgabenstellung/Lösungsweg ... 731
3 Objektive Merkmale ... 732
4 Analyse ... 738
4.1 Bewegungsabläufe/Kollision ... 738
4.2 Geschwindigkeitsberechnungen ... 739
4.3 Vermeidbarkeit ... 740

B12 Beispiele zu Insassenverletzungen ... 741

Beweissicherung und Rekonstruktion von Straßenverkehrsunfällen mit unklarer Sitzposition ... 741
1 Einleitung ... 741
2 Fallbeispiel 1 ... 742
2.1 Ausgangssituation ... 742
2.2 Ablauf der Beweissicherung ... 742
3 Fallbeispiel 2 ... 745
3.1 Ausgangssituation ... 745
3.2 Ablauf der Beweissicherung ... 745
4 Fallbeispiel 3 ... 748
4.1 Ausgangssituation ... 748
4.2 Ablauf der Beweissicherung ... 748
5 Aufgaben der Sachverständigen bei der Konfrontation mit unklaren Fahrereigenschaften ... 750
5.1 Technischer Sachverständiger ... 750
5.1.1 Arbeit am Unfallort ... 750
5.1.2 Spurensicherung am Fahrzeug ... 751
5.1.3 Teilnahme an medizinischen Untersuchungen ... 752
5.1.4 Rekonstruktion der Bewegungsabläufe ... 752
5.2 Medizinischer Sachverständiger ... 752
6 Fazit ... 754
Literatur ... 754

Teil C: Sonderthemen 755

C1 Aktive und passive Sicherheit 757

1 Die Fahrzeugsicherheit und das Risiko 757
2 Die aktive Sicherheit 757
3 Die passive Sicherheit 758
4 Nutzung von Daten und Informationen aus der aktiven für die passive Sicherheit 758
Literatur 759

C2 Sicherheitsgurte 761

A – Technik der Gurtsysteme 761
1 Bedeutung der Gurtanlege-Quote 761
2 Komponenten und Funktionsweise des Sicherheitsgurts 761
3 Sensierung und Auslösekriterien 763
4 Fragestellung aus der Sicht des Gutachters 763
Literatur 764

B – Spurenkundliche Überprüfung der Gurtsysteme 765
1 Einleitung 765
2 Sicherstellung von Sicherheitsgurten 765
3 Bewertung von Spuren als Tragspuren 765
4 Untersuchung von Sicherheitsgurten (Dreipunkt-Sicherheitsgurte ohne Straffer) 766
4.1 Vor-Untersuchungen 766
4.2 Mikroskopische Untersuchungen 766
5 Gurtstraffer/Gurtstrammer 769
6 Zusammenfassung 769
Literatur 770
7 Spurenkundliche Überprüfung der Gurtsysteme: Ein Fallbeispiel 770
7.1 Einleitung 770
7.2 Spurensicherung am Unfallort und am Fahrzeug – Sicherheitsgurten? 770
7.3 Bewertung von Spuren als Tragspuren 774
7.4 Zusammenfassung 774
Literatur 774

C3 Airbag-Systeme 775

1 Der Airbag als Sicherheitsbestandteil heutiger Automobile 775
2 Komponenten und Funktionsweise von Airbag-Systemen 776
3 Sensierung und Auslösekriterien 777
4 Fragestellung aus der Sicht des Gutachters 778
Literatur 779

C4 Schutzhelme 781

1 Einleitung 781
2 Erste Untersuchungen am Helm 781

Teil C: Sonderthemen 755

C1 Aktive und passive Sicherheit 757

1 Die Fahrzeugsicherheit und das Risiko 757
2 Die aktive Sicherheit 757
3 Die passive Sicherheit 758
4 Nutzung von Daten und Informationen aus der aktiven für die passive Sicherheit 758
Literatur 759

C2 Sicherheitsgurte 761

A – Technik der Gurtsysteme 761
1 Bedeutung der Gurtanlege-Quote 761
2 Komponenten und Funktionsweise des Sicherheitsgurts 761
3 Sensierung und Auslösekriterien 763
4 Fragestellung aus der Sicht des Gutachters 763
Literatur 764

B – Spurenkundliche Überprüfung der Gurtsysteme 765
1 Einleitung 765
2 Sicherstellung von Sicherheitsgurten 765
3 Bewertung von Spuren als Tragspuren 765
4 Untersuchung von Sicherheitsgurten (Dreipunkt-Sicherheitsgurte ohne Straffer) 766
4.1 Vor-Untersuchungen 766
4.2 Mikroskopische Untersuchungen 766
5 Gurtstraffer/Gurtstrammer 769
6 Zusammenfassung 769
Literatur 770
7 Spurenkundliche Überprüfung der Gurtsysteme: Ein Fallbeispiel 770
7.1 Einleitung 770
7.2 Spurensicherung am Unfallort und am Fahrzeug – Sicherheitsgurten? 770
7.3 Bewertung von Spuren als Tragspuren 774
7.4 Zusammenfassung 774
Literatur 774

C3 Airbag-Systeme 775

1 Der Airbag als Sicherheitsbestandteil heutiger Automobile 775
2 Komponenten und Funktionsweise von Airbag-Systemen 776
3 Sensierung und Auslösekriterien 777
4 Fragestellung aus der Sicht des Gutachters 778
Literatur 779

C4 Schutzhelme 781

1 Einleitung 781
2 Erste Untersuchungen am Helm 781

3 ECE-Typenprüfung von Helmen ... 781
4 Beschädigungen am Helm ... 782
5 Untersuchungen am Kinnriemen und am Helmschloss ... 783
6 Literatur zu Helmverlusten bei Motorradunfällen ... 784
7 Zusammenfassung ... 784
8 Begriffsbestimmungen (Schutzhelme und Visiere ECE-R 22) ... 785
Literatur ... 786

C5 Reifen und Räder ... 787

1 Einleitung ... 787
2 Sicherstellung von Rädern und Reifen ... 787
3 Reifenschäden als Unfallfolgen ... 788
4 Untersuchung von Rädern/Reifen ... 788
5 Walkspuren an Rädern/Reifen ... 789
6 Zusammenfassung ... 791
Literatur ... 792

C6 Glühlampen ... 793

1 Einleitung ... 793
2 Sicherung von Glühlampen ... 793
3 Untersuchungen von Glühlampen ... 794
3.1 Visuelle und elektrische Untersuchung ... 794
3.2 Beurteilungskriterien bei Glühlampenuntersuchungen ... 794
3.3 Oxidationsspuren an Glühlampen ... 796
3.4 Untersuchung von blauen Aufdampfungen an Glühwendeln ... 797
4 Bewertung von Spuren an Glühlampen ... 797
5 Fallversuche mit Glühlampen ... 797
6 Blinkerlampen und Blinkfrequenz ... 798
7 Xenon-Lampensysteme ... 798
8 LED-Lampensysteme ... 799
9 Zusammenfassung ... 800
Literatur ... 800

C7 Fahrzeugschlüssel ... 801

1 Fragestellung ... 801
2 Schlüssel und elektronische Sicherungssysteme ... 801
2.1 Mechanischer Schlüsselteil ... 801
2.2 Elektronischer Schlüsselteil ... 804
3 Schlüsseluntersuchung ... 805
3.1 Zugehörigkeit zum Fahrzeug ... 807
3.2 Duplizierspuren ... 808
3.3 Spuren durch Manipulationen an einem Transponder ... 810
Literatur ... 810

C8 Mikrospuren, Mikrospurensicherung, Mikrospurenauswertung 811

1 Einleitung 811
2 Sicherung von Mikrospuren 811
3 Auswertung von Mikrospuren 811
4 Bewertung von Mikrospuren 812
5 Arten von Mikrospuren 812
6 Einsatz des Spurensicherungsklebebands 813
7 Stereomikroskopische Vor-Untersuchungen 813
8 Beeinflussung des Spurenmaterials durch die Klebebänder respektive den Klebstoff 814
9 Mikroskopische Untersuchungen 814
9.1 UV/VIS-Spektroskopie (Lackspuren, textile Fasern) 814
9.2 FourierTransformierte-InfraRot-(FT-IR-)Spektroskopie (Lackspuren, Kunststoffe) 814
9.3 Pyrolyse-GC-MS (Pyrolyse-Gas-Chromatografie-Massenspektroskopie) (Lackspuren, Kunststoffe) 816
9.4 Biologische Spuren (Pflanzenfasern, Moose, Holz etc.) 816
9.5 Anorganische Spuren (Straßenschmutz, Steinchen, Mauerabrieb, metallische Spuren etc.) 817
9.6 Menschliche und tierische Haare 817
9.7 Blut, Speichel, Sperma und Gewebespuren (inklusive DNA-Material) 818
9.8 Glas (Splitter, Scherben) 819
10 Lackspuren/Lackdatenbank 820
11 Zusammenfassung 820
Literatur 821

C9 Elektronik im Kraftfahrzeug 823

1 Einführung 823
2 Anwendungsgebiete 823
3 Vernetzung und Bussysteme 824
4 Steuergeräte 825
5 Sensoren 827
5.1 Temperatursensoren 827
5.2 Positionssensoren 827
5.3 Optische Sensoren 828
5.4 Induktive Drehzahlsensoren 828
5.5 Beschleunigungssensoren 828
5.6 Ultraschallsensoren 828
5.7 Weitere Sensoren 828
5.8 Schalter und Taster 829
6 Diagnose und Prüfmöglichkeiten 829
7 Optische Lichtleitersysteme 831
8 Lichttechnik 832
9 Vorgehensweise bei Fehlersuche 832
10 Zusammenfassung/Ausblick 833
Literatur 834

C10 Zukünftige Methoden bei der Spurensicherung 835

1 Einleitung 835
2 Geschichte und Grundlagen 835
3 3D-Photogrammetrie 836
4 Neue Möglichkeiten und Bedürfnisse 836
5 3D-Scanner-Technologien 837
6 Anwendungsmöglichkeiten und Fallbeispiele 838
Literatur / www-Adressen 847

C11 Biomechanische Daten 849

1 Einleitung 849
2 Modellierung des menschlichen Körpers 852
2.1 Körpersegmente 853
2.1.1 Charakteristika von Körpersegmenten 853
2.2 Methoden zur Ermittlung der Charakteristika von Körpersegmenten 854
2.2.1 Die Schwingungsmethode 854
2.2.2 Anthropometrie und anthropometrische Datenbanken 857
2.2.3 Medizinische Bildgebung und Gewebesegmentierung 858
2.2.4 Eigenschaften der Masse und Trägheit von Körpersegmenten 863
Literatur 865

C12 Bemerkbarkeit von Kleinkollisionen 867

1 Einführung 867
2 Feststellen des Verursachers 867
3 Möglichkeiten der Bemerkbarkeit von Kleinkollisionen 868
3.1 Optische Bemerkbarkeit 868
3.2 Akustische Bemerkbarkeit 869
3.3 Taktile bzw. kinästhetische Bemerkbarkeit 870
4 Beschädigungsmerkmale 870
5 Verformungswiderstand 871
6 Kollisionsversuche 871
7 Zusammenfassung 873
Literatur 873

C13 Dunkelheitsunfälle 875

Teil 1: Sichtbarkeit aus lichttechnischer Sicht, der Dunkelheitsunfall, Rekonstruktion durch Berechnung 875

1 Abgrenzung, Zielstellung 875
2 Lichttechnische Größen 875
2.1 Raumwinkel 876
2.2 Lichtstrom Φ 877
2.3 Beleuchtungsstärke E 877
2.4 Lichtstärke I 877
2.5 Leuchtdichte L 877

3 Wahrnehmungsphysiologische Grundlagen, Wahrnehmungsmodell 878
4 Wahrnehmung und Wahrnehmungsmodelle 879
4.1 Arten der Wahrnehmungsmodelle 879
4.2 Wahrnehmungsmodell bei stationärer Beleuchtung 880
4.3 Wahrnehmungsmodell bei Kfz-Scheinwerferbeleuchtung 880
5 Berechnung der Wahrnehmung nach dem Kontrastwahrnehmungsmodell 880
5.1 Berechnung ohne Blendung 880
5.2 Berechnung mit Blendung 882
6 Die lichttechnische Unfallrekonstruktion (prinzipielle Vorgehensweise) 884
7 Messung lichttechnisch relevanter Größen 885
7.1 Messung der Leuchtdichte 885
7.1.1 Messung der Leuchtdichte mit direkt messenden Leuchtdichtemessern 886
7.1.2 Messung der Leuchtdichte mit bildauflösenden Verfahren 886
7.2 Messung der Beleuchtungsstärke 887
7.3 Folgen ungenügender V(λ)-Anpassung bei Leuchtdichte- und Beleuchtungsstärkemessgeräten 888
Literatur 889

Teil 2: Übersicht und allgemeine Hinweise zur Bearbeitung von Dunkelheitsunfällen 890
1 Rekonstruktionsmethoden und Einflussgrößen für die lichttechnische Rekonstruktion 890
2 Blickzuwendungszeit 894
Literatur 896
3 Physiologisch-optische Grundlagen und visueller Wahrnehmungsprozess 897
Literatur 900

C14 Stahlleitplanken 901
1 Einleitung 901
2 Übersicht der Normen der EN 1317 und der technischen Spezifikation für öffentliche Straßen 901
2.1 Empfehlungen der Norm EN 1317-1 902
2.2 Index für die Schwere der Beschleunigung (ASI – accelaration severety index) 903
2.3 Normzusatz EN 1317-2: 1999/A:2006 903
2.4 Theoretische Anprallgeschwindigkeit des Kopfes (THIV – theoretical head impact velocity) 904
2.5 Kopfverzögerung nach dem Anprall (PHD – post-impact head deceleration) 905
2.6 Index der Fahrzeugkabinenverformung (VCDI – vehicle cockpit deformation index) 905
2.7 Kinetische Energie und theoretische durchschnittliche Anprallkraft 905
2.8 Stufen der Fahrzeugrückhaltung 906

3 Übersicht der Norm EN 1317-2 907
3.1 Tragfähigkeitskriterien für Leitplanken und Testkriterien 907
3.2 Wirkungsbereich der Leitplanke 908
3.3 Parameter von Leitplanken 909
3.4 Fahrzeugparameter 909
3.5 Testgelände 910
4 Empfehlungen der Norm EN 1317-3 910
4.1 Anprallstufen 911
4.2 Verformungsklassen von Leitplanken nach dem Anprall 912
5 Empfehlungen der Norm EN 1317-4 913
5.1 Aufprall des Fahrzeugs in die Endkonstruktion 914
5.2 Verformungen der Endkonstruktion 915
5.3 Testparameter von Endkonstruktionen und Fahrzeugen 916
6 Technische Spezifikation für öffentliche Straßen TSC 02.210: 2008; Leit-Planken, Bedingungen und Montagearten 917
7 Verlauf der numerischen Testsimulation der Leitplanke 921
7.1 Numerische Modelle der Testfahrzeuge 921
7.2 Der Lastkraftwagen Ford F800 921
7.2.1 Der Personenkraftwagen Dodge Neon 922
7.3 Modellierung von Stahlleitplanken 923
7.3.1 Geometrische Modelle von Leitplankenelementen 923
7.3.2 Numerisches Modell einer Stahlleitplanke 923
7.3.3 Materialmodell 924
7.3.4 Modell von Linienelementen 924
7.3.5 Modellierung des Erdreichs 925
7.4 Rand- und Anfangsbedingungen 926
7.4.1 Anprall des Lastkraftwagens Ford F800 926
7.4.2 Anprall des Personenkraftwagens Dodge Neon 927
7.4.3 Anprall des Personenkraftwagens Dodge Neon in einer Kurve 927
8 Dynamische Analyse 928
8.1 Analyseergebnisse 928
8.1.1 Prüfung der Stahlleitplanken nach dem Testkriterium TB 42 928
8.1.2 Prüfung der Leitplanke nach dem Testkriterium TB 22 930
8.1.3 Anprall des Personenkraftwagens Dodge Neon in einer Kurve in einem Winkel von 20° 931
9 Schlussfolgerungen 932
Literatur 933

Teil D: Begriffe, Tabellen 935

D1 Fachbegriffe nach DIN 75204 Straßenfahrzeuge 937

1 Teil 1 – Bewegungsvorgang, Weg-Zeit-Betrachtung, Kollisionsvorgang 937
2 Teil 2 – Spuren 954
3 Teil 3 – Unfallumstände, Fahrzeug, Person 958
4 In Befund und Gutachten zu verwendende Benennungen (ÖNorm 5050 – Anhang B) 961

D2 Begriffe und Abkürzungen 967

1 Wichtige Abkürzungen in der Fahrzeugsicherheit 967
2 Firmen und Institutionen 968

D3 Medizinische Fachausdrücke 971

Anhang 1 1011

Anhang 2 1014

Literatur 1016

Sachwortverzeichnis 1017