
Inhaltsverzeichnis

Teil I Konzeptionelle Grundlagen der Verkehrssicherheit

1 Einleitung	3
1.1 Ziele der Verkehrssicherheit	3
1.2 Aspekte der Verkehrssicherheit	5
1.3 Wissenschaftlicher Ansatz	9
1.3.1 Grundlegende konzeptionelle Ansätze	9
1.3.2 Methodischer Ansatz	10
1.3.3 Paradigmen	11
1.4 Aufbau des Buchs	12
Literatur	15
2 Formulierung und Formalisierung der Beschreibung	17
2.1 Das trilaterale, varietätsbezogene Zeichenmodell	17
2.1.1 Die Konstituenten des Terminus im trilateralen Zeichenmodell	18
2.1.2 Inhaltsattribute	21
2.1.3 Skalierung von Merkmalen und Größen	22
2.1.4 Relationen in Terminologiegebäuden	26
2.2 Beschreibungsmittel	28
2.2.1 Formalisierung durch Beschreibungsmittel	28
2.2.2 UML-Klassendiagramm	30
2.2.3 Petrinetze	33
Literatur	35
3 Grundlegende Modellkonzepte für Systeme und ihre Verlässlichkeit	39
3.1 Systemmodell	40
3.1.1 Systemaxiome und -eigenschaften	40
3.1.2 Abstraktionshierarchie des Systems – Selbstähnlichkeit	42
3.1.3 Emergenz	44

3.2	Ressourcenmodell	45
3.2.1	System und Ressource	46
3.2.2	Allokation und Partitionierung	47
3.3	Spezialisierung des System- und Ressourcenmodells im Verkehrssystem	49
3.3.1	Verkehrskonstituenten und ihr Umfeld	49
3.3.2	Formalisierung einer einzelnen Fahrer-Fahrzeug-Einheit (FFE)	53
3.3.3	Formalisierung der Verflechtung mikroskopischer und makroskopischer Betrachtungen	54
3.4	Verlässlichkeit	57
3.4.1	Überlebensfähigkeit	58
3.4.2	Instandhaltbarkeit	61
3.4.3	Integration der Zuverlässigkeit und Instandhaltbarkeit zur Verfügbarkeit	65
3.5	Sicherheit	67
3.5.1	Sicherheit als emergente und generische Eigenschaft	68
3.5.2	Schutz der Umwelt vor Systemauswirkungen (Safety)	69
3.5.3	Schutz eines Systems vor Fremdeinwirkungen (Security)	71
3.5.4	Sicherheitstermini	74
3.6	Verkehrssicherheit	74
3.6.1	Systemimmanenz der potenziellen Gefährdung und Intrusion	75
3.6.2	Risikoentstehung als emergentes Verhalten von Verkehrskonstituenten	75
3.6.3	Verkehrssicherheit im Wirkungsablauf	76
	Literatur	78

Teil II Darstellungen der Verkehrssicherheit

4	Wahrnehmung der Verkehrssicherheit	83
4.1	Aspekte der Wahrnehmung	84
4.1.1	Wahrnehmungsgegenstand „Verkehrssicherheit“	85
4.1.2	Visuelle Wahrnehmung	85
4.1.3	Akustische Wahrnehmung	86
4.1.4	Haptische Wahrnehmung	87
4.2	Kategorien der Risikowahrnehmung	88
4.2.1	Objektive vs. subjektive Risikowahrnehmung	88
4.2.2	Aktive vs. passive Risikowahrnehmung	90
4.2.3	Individuelle vs. kollektive Risikowahrnehmung	92
4.2.4	Unmittelbare vs. mittelbare Risikowahrnehmung	94
4.3	Verkehrssicherheit in der medialen Berichterstattung	95
	Literatur	98

5 Statistiken der Verkehrssicherheit	99
5.1 Aspekte der Verkehrsstatistik	99
5.1.1 Sichten der Verkehrsstatistik	100
5.1.2 Rechtsgrundlagen und Merkmale der Verkehrsstatistik	102
5.1.2.1 Rechtsgrundlagen und Merkmale der Statistik im Schienenverkehr	102
5.1.2.2 Rechtsgrundlagen und Merkmale der Statistik im Straßenverkehr	103
5.1.3 Träger der Verkehrsstatistik	106
5.1.4 Ebenen und Zeithorizonte der Verkehrsstatistik	106
5.1.5 Datenbanken der Verkehrsstatistik	110
5.2 Grundlagen statistischer Datenanalyse	113
5.2.1 Verteilungsfunktionen	114
5.2.1.1 Normalverteilung	115
5.2.1.2 Exponentialverteilung	116
5.2.1.3 Logarithmische Normalverteilung	118
5.2.1.4 Weibullverteilung	119
5.2.2 Beschreibungsmittel statistischer Daten	122
5.2.2.1 Beschreibungsmittel univariater statistischer Daten	123
5.2.2.2 Beschreibungsmittel multivariater statistischer Daten	128
5.2.3 Zusammenhänge zwischen statistischen Daten	129
5.2.3.1 Korrelationsanalysen	129
5.2.3.2 Regressionsanalysen	130
5.3 Vorgehensmodell	131
5.3.1 Erhebungsgesamt	131
5.3.1.1 Bestimmung des Untersuchungsfeldes	132
5.3.1.2 Festlegung des Verfahrens der Erhebungsdurchführung	133
5.3.1.3 Festlegung zum Umfang der Datenerhebung	134
5.3.2 Erhebungsdurchführung	134
5.3.3 Sammlung	137
5.3.4 Aufbereitung	137
5.3.4.1 Prüfung auf Vollständigkeit und Glaubwürdigkeit	137
5.3.4.2 Prüfung auf Einhaltung statistischer Qualitätsparameter	138
5.3.4.3 Aufdeckung und Vermeidung systematischer Fehler	138
5.3.4.4 Verdichtung durch Ordnung und Gruppenbildung	138
5.3.5 Darstellung	139
5.3.6 Analyse	140
5.4 Inkompatibilität statistischer Daten	140
Literatur	141

6 Risikometrie	145
6.1 Der Risikobegriff	145
6.1.1 Etymologische Herkunft des Risikobegriffs	145
6.1.2 Definition des Risikos in Normen	146
6.1.3 Unfallgeschehen	148
6.2 Risikomerkmale	149
6.2.1 Schadensarten und -klassifizierung	150
6.2.2 Merkmalsausprägung und Skalierung von Personenschäden	152
6.2.3 Merkmalsausprägung und Skalierung von Sachschäden	157
6.2.4 Schadenseintrittshäufigkeiten	158
6.2.5 Schadensausmaßhäufigkeiten	160
6.3 Risikomaße	162
6.3.1 Einzelschäden und „Akkumulation“/ Absolute Risikomaße	163
6.3.2 Individuelles und kollektives Risiko	163
6.3.2.1 Individuelles Risiko	165
6.3.2.2 Kollektives Risiko	166
6.3.3 Bezugene Risikomaße und Mortalität	166
6.3.4 Vitalität und Brevitalität	168
6.3.5 Neue Sicherheitsmaße: Sicherheitsgrad und Sicherheitsindex	169
6.3.6 Modalspezifisches Verkehrsrисiko	171
6.3.7 Normalisierung	173
6.3.8 Verfügbarkeits-Sicherheits-(VS)-Diagramm	174
6.4 Risikoreferenz und -akzeptanz	175
6.4.1 Risikomatrix und Nominalskalierung	176
6.4.2 Minimum Endogenous Mortality (MEM)	177
6.4.3 As low as Reasonably Practicable (ALARP)	178
6.4.4 Globalement Au Moins Aussi Bon (GAMAB)	179
6.5 Gefährdungsmaße	180
6.5.1 Sicherheitsintegritätsniveau (Safety Integrity Level SIL)	181
6.5.2 Risikoprioritätszahl RPZ	182
6.5.3 Automotive Safety Integrity Level (ASIL)	187
6.5.4 Weitere Risiko- und Gefährdungsmaße	190
Literatur	195

Teil III Methoden zur Modellierung und Analyse der Verkehrssicherheit

7 Modelle und Modellierung	201
7.1 Grundlagen der Modellbildung	202
7.1.1 Semiotische Dimension von Modellen	203
7.1.2 Vorgehensweise der methodischen Modellbildung	205
7.1.3 Modellarten	207
7.1.4 Modellierungsaspekte	215

7.2	Funktionsmodelle menschlichen Verhaltens	218
7.2.1	Intra- und interpersonelles Kommunikationsmodell	219
7.2.2	Leitermodell nach Rasmussen	222
7.2.3	Formales Kognitives Ressourcen-Modell	225
7.2.4	Weitere Kognitive Modelle und ihre Zielsetzung	227
7.2.5	Fahrermodelle im Straßenverkehr	230
7.3	Technisch-physikalische Modelle	236
7.3.1	Verkehrsmodellierung	236
7.3.2	Einspurmodelle	238
7.3.3	Mehrkörpermodelle	238
7.3.4	Weitere Modelle	238
7.4	Systemdynamische Modellierung	242
7.4.1	Anforderungen an die Systemmodellierung	242
7.4.2	Systemumfang und -grenze	243
7.4.3	Komponenten von Regelungssystemen	245
7.4.4	Systemdynamisch-regelungstechnische Modellierung	246
7.4.5	Funktionsstrukturprinzip Rückkopplung	254
7.4.6	Komplexe Regelungsstrukturen	255
7.4.7	Emergentes Verhalten von Regelkreisstrukturen	256
7.4.8	System Dynamics als Modellierungsmethode	257
7.5	Zustandskonzept	262
7.5.1	Zustandsbegriff	262
7.5.2	Zustandsraum und Trajektorie	264
7.5.3	Systemdynamik der Verkehrsmittelbewegung	264
7.6	Zustandsinterpretationen und -attribute	266
7.6.1	Schadenszustand	267
7.6.2	Sicherer Zustandsraum	268
7.6.3	Gefährdungs- und Sicherheitsbedingungen im Zustandsraum	270
7.6.4	Sicherheitsbedingungen im Modell der Risikogenese	272
7.7	Hybrides Globalmodell des Sicherheitszyklus	276
7.7.1	Konfliktmodellierung einer Straßenkreuzung	277
7.7.2	Sicherheitszyklus mit stochastischen Globalzuständen	281
7.7.3	Bestimmung der Raten und Zustandswahrscheinlichkeiten	284
7.7.4	Verfeinerung der Globalzustände und -übergänge	289
7.8	Risikogenese und Berechnungen der Schadenswahrscheinlichkeit und -rate im Sicherheitszyklus	290
7.8.1	Verstreichen einer Dauer bis zum Schadenseintritt	292
7.8.2	Verzweigungsmöglichkeit nach dem Gefährdungszustand	302
7.8.3	Sofortiger Schadenseintritt nach der Gefährdungssituation	305
7.8.4	Konventionelle Berechnung des individuelles Risikos	307
	Literatur	309

8	Techniken und Methoden	317
8.1	Traditionelle Techniken	318
8.1.1	Hazard and Operability Analysis (HAZOP)	319
8.1.2	Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA)	320
8.1.3	Ereignisbaumanalyse (ETA)	322
8.1.4	Fehlerbaumanalyse (FIA)	324
8.1.5	Zuverlässigkeitssblockdiagramme (RBD)	327
8.1.6	Petrinetze (PN)	327
8.1.7	Markov-Modell (MK)	331
8.1.8	Zusammenfassung des Technik-Überblicks	333
8.2	Risikoanalyse und -prognose durch generische Gefährdungslisten	336
8.2.1	Gefährdungs- und Schadensidentifikation	337
8.2.2	Struktur- und Funktionsanalyse	340
8.2.3	Gefährdungsstrukturierung	342
8.2.4	Dokumentierungen von Gefährdungssituationen	343
8.3	PROFUND- Modellkonzept	346
8.3.1	Ansatz der modellbasierten Sicherheitsanalyse	347
8.3.2	Grundlegende Modellierung und Vorgehensweise	350
8.3.3	PROFUND-modulare Teilmodelle	352
8.3.4	Systemdefinition und -grenzen	354
8.3.5	Trennung von Funktion und Ressource	355
8.3.6	Verlässlichkeitssmodellierung	356
8.3.7	Identifikation der Gefährdungssituationen	363
8.4	PROFUND-Analyse	364
8.4.1	Risikoanalyse des Verkehrsprozesses	365
8.4.2	Das Risiko des kontrollierten Verkehrsprozesses	370
8.4.3	'Analyse des PROFUND-Gesamtmodells	371
8.5	Methoden der Risikoabschätzung	374
8.5.1	Analytische Risikoabschätzung	375
8.5.2	Simulative Risikoabschätzung	376
8.5.3	Heuristische Risikoabschätzung	377
8.5.4	Systemtheoretische Unfall- und Prozessmodellierung	380
	Literatur	382

Teil IV Realisierungskonzepte und Maßnahmen zur Verkehrssicherheit

9	Implementierungskonzepte	391
9.1	Strukturierung	392
9.1.1	Beispiel zur Einführung	393
9.1.2	Phasenstruktur	395
9.1.3	Hierarchische Gliederung des normativen Rahmens	395
9.1.4	Funktionale Schichtung	397

9.1.5 (Sicherungsfunktion und) Ressourcenverlässlichkeit	398
9.1.6 Weitere Strategien zur Risikobeherrschung	398
9.2 Konzepte der Gefährdungs- und Risikobeherrschung	400
9.2.1 Gefährdungsursachen und -auswirkung	401
9.2.2 Gefährdungsvermeidung	403
9.2.3 Gefährdungsabwehr	405
9.2.4 Auswirkungsminderung	407
9.3 Funktionale Konzepte	408
9.3.1 Überwachung	409
9.3.2 Steuerung	413
9.3.3 Regelung	414
9.3.4 Logischer Ausschluss	416
9.3.5 Kommunikation durch Informieren und Warnen	420
9.3.5.1 Informieren	421
9.3.5.2 Warnen	421
9.3.5.3 Informationsvermittlung und -kommunikation durch Zeichen und Signalisierung	422
9.3.6 Korrektheit und Verifizierung	423
9.3.7 Zeitliches Verhalten	425
9.4 Technische Zuverlässigkeit	426
9.4.1 Zuverlässigkeit von Gerätesystemen	427
9.4.2 Strategien der Reservehaltung	435
9.4.3 Instandhaltungsmanagement	436
9.4.4 Rettungswesen	439
9.5 Menschliche Realisierungskonzepte	440
9.5.1 Überblick und Strukturierung	441
9.5.2 Erziehung und Ausbildung (Education)	443
9.5.3 Übung und Erfahrung	445
9.5.3.1 Persönlichkeitsentwicklung	445
9.5.3.2 Begleitetes Fahren	447
9.5.3.3 Altersabhängige Verlässlichkeit im Straßenverkehr	447
9.5.3.4 Situative Verlässlichkeit	450
9.5.4 Kontrolle, Ahndung und Anreiz (Enforcement)	450
9.6 Technische physikalische Realisierungskonzepte	455
9.6.1 Technisch-physikalische Realisierung in Verkehrsmitteln	456
9.6.2 Technisch-physikalische Realisierung in der Verkehrswegeinfrastruktur	457
9.6.2.1 Vermeidung des Abkommens vom Verkehrsweg	457
9.6.2.2 Kollisionsvermeidung	459
9.6.3 Technisch-physikalische Realisierungskonzepte von Sicherungsfunktionen	461
9.6.3.1 Physikalisch-energetische Prinzipien	461

9.6.3.2 Gestaltung, Form und Werkstoffe	462
9.6.3.3 Zustandserfassung und -beeinflussung	463
9.7 Informationstechnische Realisierung von Sicherungseinrichtungen	463
9.7.1 Fehlertolerante Systeme	464
9.7.2 Softwaretechnisch implementierte Fehlertoleranz (SIFT)	470
9.7.3 Hardwaretechnisch implementierte Fehlertoleranz (HIFT)	474
9.7.4 Sichere Kommunikation	476
Literatur	479
10 Implementierungsbeispiele	487
10.1 Kombinatorische Vielfalt der Implementierungskonzepte	487
10.2 Klassifikation von Implementierungskonzepten	489
10.3 Implementierungsentscheidung	491
10.4 Klassifizierung nach Zustandsübergängen im Sicherheitszyklus	493
10.5 Maßnahmen der Prävention	494
10.5.1 Prävention mittels Gestaltung der Verkehrswegeinfrastruktur	496
10.5.2 Prävention mittels Gestaltung der Verkehrsmittel	497
10.5.3 Prävention durch Vorgaben für Verkehrsobjekte	497
10.5.4 Prävention seitens der Verkehrsorganisation	499
10.6 Maßnahmen der Intervention	501
10.6.1 Interventionen seitens der Verkehrswegeinfrastruktur	502
10.6.2 Interventionen seitens der Verkehrsmittel	502
10.6.3 Interventionen seitens des Verkehrsobjekts	504
10.6.4 Interventionen seitens der menschlichen Verkehrsorganisation	504
10.7 Maßnahmen der Postvention	506
10.7.1 Notfallreaktionen seitens der Verkehrswegeinfrastruktur	507
10.7.2 Notfallreaktionen seitens des Verkehrsmittels	509
10.7.3 Notfallreaktionen seitens des Verkehrsobjekts	509
10.7.4 Notfallreaktionen durch Verkehrsorganisation	510
10.8 Bewertung von Implementierungen im Straßenverkehr	513
10.8.1 Fahrerassistenzsysteme	513
10.8.2 Kosten-Nutzen bewertete Maßnahmen	522
10.8.3 Entwicklungslinien für Maßnahmen (Roadmaps)	524
Literatur	525
11 Technische Entwicklung	529
11.1 Einführung	530
11.2 Modellierung des Systemlebenslaufs	534
11.2.1 Modelle des Systementwurfes	534
11.2.2 Integration der Qualitätssicherung	535
11.2.3 Validation, Verifikation und Test	537

11.3 Sicherheitsgerichteter Entwicklungsprozesses im Schienenverkehr	538
11.3.1 Aufgaben und Vorgaben	538
11.3.2 Prozess- und Projektmanagement	540
11.3.3 Phasen des sicherheitsgerichteten Entwicklungsprozesses	541
11.4 Sicherheitsgerichtete Anforderungsanalyse für Assistenzsysteme im Straßenverkehr	550
11.4.1 Unfallanalyse	550
11.4.2 Fahreraufgaben und -fehlhandlungen	551
11.4.3 Assistenzstrategien	555
11.4.4 Herleitung von Anforderungen	557
11.4.5 Fahrerassistenzsysteme und Sicherheitspotenziale	558
11.5 Spezielle Entwicklungsphasen	560
11.5.1 Kontinuierliches Anforderungsmanagement	561
11.5.2 Sicherheitsplanung	562
11.5.3 Risikobearbeitung	564
11.5.4 Test	568
11.5.4.1 Terminologie des Testens	568
11.5.4.2 Testkonzepte	572
11.5.5 Nachweisführung und Zulassung	574
11.6 Entwicklung der Sicherheitskultur	579
11.6.1 Phase der funktionalen Strukturierung	580
11.6.2 Phase der Prozessregeln	582
11.6.3 Phase der Prozessoptimierung	583
11.6.4 Phase der europäischen Harmonisierung	583
11.7 Kritik der methodischen Entwicklung	584
11.7.1 Retrospektiver vs. prospektiver Ansatz	584
11.7.2 Entwurfsmethoden	586
Literatur	586
12 Normativer Rahmen, Ziele und Organisationen	591
12.1 Normativer Rahmen	592
12.1.1 Hierarchische Strukturierung des normativen Rahmens	592
12.1.2 Europäische und nationale verbindliche Rechtsvorschriften	592
12.1.3 Allgemein anerkannte Regeln der Technik	594
12.2 Normativer Rahmen der (Produkt-)Sicherheit	596
12.2.1 Europäische und nationale verbindliche Rechtsvorschriften zur Sicherheit	596
12.2.2 Sicherheitsgrundnorm	598
12.3 Normativer Rahmen der Sicherheit im Schienenverkehr	601
12.3.1 Europäische und nationale verbindliche Rechtsvorschriften zur Sicherheit im Schienenverkehr	601
12.3.2 Adaption der Sicherheitsgrundnorm für die Sicherheit im Schienenverkehr	603

12.4 Normativer Rahmen der Sicherheit im Straßenverkehr	604
12.4.1 Europäische und nationale verbindliche Rechtsvorschriften zur Sicherheit im Straßenverkehr	604
12.4.2 Adaption der Sicherheitsgrundnorm für die Sicherheit im Straßenverkehr	608
12.5 Sicherheitsziele und Referenzwerte	610
12.5.1 Sicherheitsziele im Straßenverkehr	611
12.5.2 Sicherheitsziele im Eisenbahnverkehr	613
12.5.3 Entwicklung von Referenzwerten für Sicherheitsniveaus	614
12.6 Organisation und Institutionen	618
Literatur	622
Sachverzeichnis	625