



Eckehard Schnieder
Lars Schnieder

Verkehrssicherheit

Maße und Modelle,
Methoden und Maßnahmen
für den Straßen- und Schienenverkehr

VDI

 Springer Vieweg

Eckehard Schnieder
Lars Schnieder

Verkehrssicherheit

Maße und Modelle,
Methoden und Maßnahmen
für den Straßen- und Schienenverkehr

VDI

 Springer Vieweg

Verkehrssicherheit

Eckehard Schnieder • Lars Schnieder

Verkehrssicherheit

Maße und Modelle,
Methoden und Maßnahmen
für den Straßen- und
Schienenverkehr

Eckehard Schnieder
FB 7 Maschinenbau, LS Regelungs- und
TU Braunschweig
Braunschweig
Deutschland

Lars Schnieder
Institut für Verkehrssystemtechnik
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Braunschweig
Deutschland

ISBN 978-3-540-71032-5
DOI 10.1007/978-3-540-71033-2

ISBN 978-3-540-71033-2 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
www.springer-vieweg.de

Geleitwort

Die wichtigste Grundlage der Notfallversorgung von Patienten ist die Notfallvermeidung. Für den Bereich Haus- und Betriebsunfälle haben sich vor allem die Berufsgenossenschaften verdient gemacht. Der Rückgang der Unfälle in beiden Bereichen ist deutlich erkennbar. Durch die Verbesserung der Notfallversorgung ist auch die Zahl der Verkehrstoten, in den letzten 40 Jahren, bei gestiegenen Verkehrsunfallzahlen, sehr erfreulich zurückgegangen.

Aber trotz der umfangreichen Bemühungen vieler Organisationen, wie zum Beispiel des Deutschen Verkehrssicherheitsrates und der Deutschen Verkehrswacht, ist die Zahl der Verkehrsunfälle in Deutschland nicht rückläufig. Deshalb ist auch die Zahl der Verletzten, besonders der Schwerverletzten, nicht zurückgegangen.

Die Lösung solcher umfassender Probleme lässt sich aber auch nicht mit Sonntagsreden „aus dem Ärmel schütteln“. Deshalb ist die umfassende, wissenschaftliche Untersuchung der Verkehrssicherheit durch Prof. Dr. Eckehard Schnieder und Dr. Lars Schnieder eine folgerichtige Notwendigkeit.

Den Wert wissenschaftlicher Untersuchungen kennen wir aus eigener Erfahrung. Als sich die Björn Steiger Stiftung mit der Aufstellung von Notruftelefonen an Straßen befasste, waren wir der Meinung, dass Notruftelefone vor allem an Unfallschwerpunkten errichtet werden sollten. Durch eine umfassende, langjährige wissenschaftliche Untersuchung haben wir festgestellt, dass Notruftelefone an Unfallschwerpunkten selbst zur Unfallursache werden können. Unfallschwerpunkte können nicht durch Meldesysteme, sondern müssen durch bauliche Maßnahmen beseitigt werden.

Ich wünsche den Autoren, dass die Erkenntnisse ihrer umfassenden Untersuchungen von den zuständigen Institutionen nun auch zügig umgesetzt werden.

Winnenden, im September 2012

Dr. med. h.c. Siegfried Steiger
Gründungspräsident der Björn Steiger Stiftung

Vorwort

Der angestrebte Zustand sicheren Verkehrs wird in der Realität nicht erreicht. Davon zeugen täglich Unfälle mit mehr oder weniger schweren Folgen, obwohl von den verschiedensten Akteuren zahllose Anstrengungen unternommen werden, die Verkehrssicherheit weiter zu verbessern. Denn Unfallfolgen belasten nicht nur die Volkswirtschaften in beträchtlichem Ausmaß, sondern auch die Gesellschaft und jeden Einzelnen als Betroffenen oder Angehörigen von Unfallopfern.

Verkehrs(un)sicherheit zu verstehen und aus einem ganzheitlichen Verständnis Grundlagen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit des Straßen- und Schienenverkehrs zu liefern, ist Ziel und Zweck dieses Buches.

Der in diesem Buch verfolgte Ansatz, Verkehrssicherheit als Eigenschaft eines komplexen soziotechnischen Systems zu verstehen, geht weit über die üblichen wissenschaftlichen und technischen Ansätze hinaus, auf die das umfangreiche Literaturverzeichnis verweist. Während dort die Betrachtung von spezifischen Aspekten, Phänomenen und ihrer Einflüsse vertieft wird, fehlt bislang eine integrale und systemische Sicht. Erst diese kann die komplexen Beziehungsgeflechte der verschiedenen Maßnahmen, der führenden Akteure und der resultierenden Ergebnisse, die zur Abwägung verschiedener Maßnahmen dienen, transparent vor Augen führen.

Die Verwirklichung dieses Zieles braucht eine solide (wissenschaftliche) Grundlage, für die in diesem Buch ein originärer Dreiklang aus Konzepten der Regelungstechnik, der mathematischen und soziologischen Systemtheorie und der Linguistik im Sinne einer formalisierten und strukturalistischen Systemtheorie entwickelt wird.

Mit diesen neuen *konzeptionellen Grundlagen* im ersten Teil des Buches konnte von den Verfassern der Grundstein zu einer systemtheoretisch fundierten Verkehrssicherheit gelegt werden. Damit wird in den beiden folgenden Teilen mit ihren verschiedenen *Darstellungen und Modellen* Verkehrssicherheit in ihren phänomenologischen Aspekten beschrieben und in ihrer Wirkungsweise modelliert.

Das Ziel, zur Verbesserung der Verkehrssicherheit beizutragen, wird in den beiden anderen Teilen *Methoden* und *Maßnahmen* verfolgt, indem mit geeigneten Modellierungstechniken und Sicherheitskonzepten die theoretischen Grundlagen für konkrete Realisierungen entwickelt werden, die sich sowohl beispielhaft in technischen Verwirkli-

chungen als auch gleichermaßen normativen Rahmenbedingungen der Gesetzgebung und Organisation manifestieren.

Eine derart komplexe Materie zu durchdringen, gelang im Laufe der letzten Jahre durch viele Arbeiten der Autoren im industriellen und wissenschaftlich-universitären Umfeld. Einerseits waren die industriellen Erfahrungen und die Mitwirkung bei anwendungsnahen Forschungsprojekten und andererseits die Aufgabe, eine Lehrveranstaltung und zugehörige Arbeitsmaterialien zu entwickeln Motivation, die komplexe Materie der Verkehrssicherheit systematisch zu ordnen. Zur Durchdringung und Strukturierung der Materie haben viele Anregungen und Diskussionen mit ehemaligen Vorgesetzten sowie Kollegen aus Industrie, Behörden und Wissenschaft in den letzten Jahrzehnten beigetragen. Daher gebührt ihnen ein erster Dank. Die Konzeption konnte weiterhin durch viele Gespräche und Diskussionen im Familienkreis reifen und an Kontur gewinnen. Der Keim zur systematischen Grundlegung beruht auch auf unserer persönlichen Entwicklung und Erfahrung dank schulischer und universitärer Bildung und soll ebenfalls hier gewürdigt werden.

Inhaltlich hat sich der Stoff aus den Vorlesungen zur Verkehrssicherheit, Technischen Zuverlässigkeit und Technischen Sicherheit entwickelt, die seit dem Jahr 2000 an der Technischen Universität Braunschweig für Studierende der Ingenieurwissenschaften angeboten und zunehmend von den Natur- und Geisteswissenschaften nachgefragt werden. Den wissenschaftlichen Mitarbeitern des Instituts für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik, welche mit zum Aufbau dieser Lehrveranstaltungen beigetragen haben, sei namentlich gedankt: Prof. Dr.-Ing. Gert Bikker; Dr.-Ing. Jörn Drewes und Dipl.-Ing. Daniel Beisel.

Auf der neuen konzeptionellen Grundlage wurde durch zahlreiche weitere unabhängige wissenschaftliche Arbeiten das Theoriegebäude der Verkehrssicherheit ausgebaut und mittels vieler Anwendungsprojekte validiert. Dazu haben im letzten Jahrzehnt nationale und europäische Forschungsvorhaben mit Förderung durch Bundesministerien und die Europäische Union sowie des Eisenbahnwesens und der Automobilindustrie beigetragen. Die wissenschaftlichen Erkenntnisse wurden mittels studentischer Arbeiten und mehrerer Dissertationen von wissenschaftlichen Mitarbeitern und Gastwissenschaftlern am Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik der Technischen Universität Braunschweig erarbeitet, sodass eine Fülle von neuen und originalen Ergebnissen in das Buch einfließen konnte.

Ihre Urheber haben uns – im Sinne der Zielsetzung der Verkehrssicherheit wie auch im Kontext wissenschaftlicher Kommunikation – ihre Zustimmung zur Nutzung ihrer wissenschaftlichen Ergebnisse gegeben, worüber wir uns sehr freuen und uns bei allen bedanken. In der Einordnung des methodischen Kontexts dieses Buches finden ihre Beiträge in dem beabsichtigten Rahmen eines Theoriegebäudes der Verkehrssicherheit die richtige Einordnung und vertiefen die Darstellung im notwendigen Detail. Unser Dank gebührt daher den Verfassern: Prof. Dr. Nils Bandelow (Abschn. 12.6), M.A. Annekathrin Bock und Dr. phil. Christian Stein (Abschn. 4.3), Dr.-Ing. Stefan Detering (Abschn. 7.2.5), Dr.-Ing. Jörn Drewes (Abschn. 5.1.2.1, 8.2, 9.2, 11.3 und 11.4), Dr. rer. nat. Martin Gründl (Abschn. 10.8.1), Dipl.-Ing. Lars Ehlers (Abschn. 9.4.4), B.Sc. Nina Helling (Abschn. 9.5.1), Dr.-Ing.

Marc Horstmann (Abschn. 11.5.4), Dipl. Wirtsch.-Ing. René S. Hosse (Abschn. 8.5.4), Dr.-Ing. Jörg May (Abschn. 11.5.5), Dr.-Ing. Michael Meyer zu Hörste (Abschn. 11.2), Dr.-Ing. Christoph Möhlenbrink (Abschn. 7.2.4), Dr.-Ing. Martin Schroeder (Abschn. 6.3.2, 11.5.2 und 11.5.3), Dr.-Ing. Roman Slovák (Abschn. 8.3 und 8.4), Dr.-Ing. Tobias Ständer (Abschn. 8.1), Dr. rer. pol. Jörg Wansart (Abschn. 7.4.8) und Dr.-Ing. Bernd Werther (Abschn. 7.2.2 und 7.2.3).

Für die geduldige Erfassung und kompetente Bearbeitung der umfangreichen Manuskripte und Literatur sei Frau Sarah-Romina Pesenecker und Frau Regine Stegemann herzlich gedankt. Unterstützt wurden wir bei den Zeichnungen, Tabellen und Formeln durch unsere wissenschaftlichen Hilfskräfte Frau Christine Jendritzka, Frau Nina Helling und Herrn Marius Haardt, die Auszubildenden Frau Nadine Schwarz und Frau Linda Völkner und in terminologischer und formalisierter Präzisierung durch die Herren Dr. Jörg R. Müller, Dr. phil. Christian Stein und Dieter Schnäpp sowie bei den Berechnungen in Kap. 7 den Herren Dr.-Ing. Matthias Hübner und Dr.-Ing. Lisandro Quiroga. Die inhaltliche und redaktionelle Durchsicht übernahmen die wissenschaftlichen Mitarbeiter des Instituts für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik. Vor allem sei dabei Herrn Dipl.-Wirtsch.-Ing. René S. Hosse für die stringente redaktionelle Finalisierung herzlich gedankt. Für das Interesse des Springer-Verlages danken wir Herrn Thomas Lehnert. Dass der Gründer der Björn Steiger Stiftung, Herr Dr. Siegfried Steiger, mit seinem Geleitwort das Buch eröffnet, ist Freude und Ehre zugleich.

Wir hoffen, dass die Lektüre den nachvollziehbaren und nachhaltigen Zugang zur Verkehrssicherheit vermittelt und dadurch zum angestrebten Zustand sicheren Verkehrs beiträgt.

Braunschweig, im September 2012

Eckehard Schnieder
Lars Schnieder

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	Risikoeinstellung 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	Erhebungsdesign	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 Bezogene Risikomaße und Mortalität	166
6.3.4 Vitalität und Brevitalität	168
6.3.5 Neue Sicherheitsmaße: Sicherheitsgrad und Sicherheitsindex	169
6.3.6 Modalspezifisches Verkehrsrisiko	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	Schadenzustand	267
7.6.2	Sicherer Zustandsraum	268
7.6.3	Gefährdungs- und Sicherheitsbedingungen im Zustandsraum	270
7.6.4	Sicherheitsbedingungen im Modell der 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 individuellen 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 (FTA)	324
8.1.5	Zuverlässigkeitsblockdiagramme (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	Verlässlichkeitsmodellierung	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 ^c	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