



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	Risikointstehung 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

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 Verkehrsweginfrastruktur	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 Verkehrsweginfrastruktur	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 Verkehrsweginfrastruktur	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 Verkehrsweginfrastruktur	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

Teil I

**Konzeptionelle Grundlagen der
Verkehrssicherheit**

Verkehrssicherheit ist ein Ausdruck, dessen Bedeutung sich in der Regel sofort intuitiv erschließt. In der Frage nach Erklärungen für Ursachen und Möglichkeiten, die Verkehrssicherheit positiv zu beeinflussen, offenbart sich ein höchst komplexes Beziehungsgeflecht. Dieses spannt ein Spektrum von Vermutungen bis zu gesicherten Erkenntnissen auf. Bei Vermutungen oder Erkenntnislücken liegt ein Gebiet unvollständiger Informationen vor, das immer weiter erforscht werden muss. Andererseits handelt es sich nach den derzeit vorliegenden Erkenntnissen bei der Verkehrssicherheit um ein sich dynamisch weiterentwickelndes Wissensgebiet eines komplexen soziotechnischen Systems. Diese Komplexität und die darin enthaltenen Betrachtungsgegenstände samt ihren Beziehungen inhaltlich zu durchdringen und transparent darzustellen sowie Methoden für die Erforschung und sicherheitsgerichtete Gestaltung von Verkehrssystemen vorzustellen, ist Ziel dieses Buches.

In diesem ersten, einleitenden Kapitel werden in Abschn. 1.1 die grundlegenden Ziele der Verkehrssicherheit dargestellt und im Abschn. 1.2 aus verschiedenen Blickwinkeln der Themenkomplex Verkehrssicherheit erörtert. Abschnitt. 1.3 stellt den diesem Buch zugrunde liegenden wissenschaftliche Ansatz vor. Zuletzt gibt Abschn. 1.4 einen Überblick über die Struktur der inhaltlich aufeinander aufbauenden Kapitel.

1.1 Ziele der Verkehrssicherheit

Allein aus ethischen Gründen, das heißt Humanität, Mitleid und Nächstenliebe, resultiert eine Verantwortung für die sicherheitsgerichtete Gestaltung von Verkehrssystemen. Diese drückt sich unmittelbar in der akuten Verkehrsteilhabe aus, hat jedoch ihre Ursachen durchaus im Vorlauf, beispielsweise in gesellschaftlichen Werten, in der Gesetzgebung, -befolgung und Rechtsprechung, in Entwurf, Erstellung, Betrieb, Instandhaltung und Außerbetriebsetzung von Verkehrsmitteln und -wegen, wodurch sich bereits das große Spektrum der Einflüsse äußert.

Menschliches Leben ist eines, wenn nicht gar das höchste gesellschaftliche Gut, das zu schützen ist. Diese wichtige Aufgabe obliegt dem Staat als von der Gesellschaft legitimierter

verantwortlicher Institution, vgl. Grundgesetz (GG)¹. Auch auf übernationaler und -staatlicher Ebene hat sich der Schutz des menschlichen Lebens in völkerrechtlichen Zusammenschlüssen innerhalb der Vereinten Nationen und der Europäischen Union, welche sich aus traditionellen Institutionen, Kulturen und Religionen entwickelten, ausgedrückt, vgl. dazu (EU-Charta 2000, 1994) und die 10 Gebote nach (Ex 20, 2–17). Neben dem menschlichen Leben tritt auch das Sachgut als erhaltens- und schützenswertes Objekt im Verkehrssystem auf. Dieses ist wie der Schutz des Lebens, zum Teil nachgeordnet, in den Rechtsordnungen verankert. Aus den ethisch-moralischen Pflichten der Achtung und Erhaltung menschlichen Lebens und des Schutzes von Sachgütern hat sich im Bereich des Verkehrs ein umfangreiches Regelwerk entwickelt, um die Unversehrtheit von Leib und Leben sowie Sachen zu erreichen.

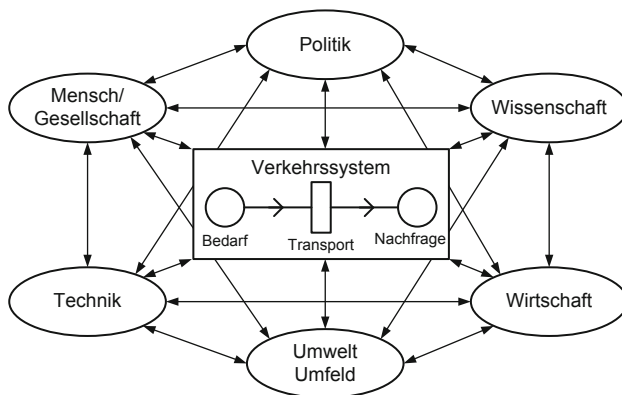
Die anspruchsvolle Zielsetzung eines sicheren Verkehrs wird in der Realität bei Weitem nicht erreicht. Die bestehende Diskrepanz zwischen angestrebter und tatsächlich vorhandener Sicherheit im Verkehr umfasst großes menschliches Leid und erhebliche volkswirtschaftliche Verluste. In diesem Zusammenhang ist die Verwendung der ansonsten unwortartigen Bezeichnung „Human-Kapital“ durchaus berechtigt und verweist auf den humanistischen Auftrag, die entsprechenden Verluste zu verringern.

Dieser Auftrag zur Verbesserung der Verkehrssicherheit ist vielfältiger Natur und wird individuell-subjektiv, kollektiv-politisch, finanziell-wirtschaftlich, das heißt in gesellschaftlicher Verpflichtung aller Lebensbereiche, wahrgenommen. Dazu gehören die legislative Regelsetzung und die Ahndung durch die Exekutivorgane des Staates, Erziehung und Ausbildung, Selbstverpflichtung und Kampagnen, Aufklärung und Öffentlichkeitsarbeit, Anreize und Anerkennungen. Ausprägungen dieser Zielsetzung, die Anzahl an Verkehrsopfern immer weiter zu verringern, sind beispielsweise:

- Das von der Kommission der Europäischen Union veröffentlichte Weißbuch „Verkehr“ aus dem Jahr 2001 hatte zum Ziel, in einem Jahrzehnt die Zahl der Verkehrstoten zu halbieren (Weißbuch 2001). Das Weißbuch aus dem Jahr 2011 spricht sogar das Ziel der Senkung auf nahe Null der Zahl der im Straßenverkehr tödlich verunglückten Personen bis ins Jahr 2050 aus (Weißbuch Verkehr 2011).
- Die Europäische Charta der Straßenverkehrssicherheit (European Road Safety Charter) ist eine freiwillige Selbstverpflichtung der Unterzeichner an der Reduktion der Verkehrsunfallzahlen mitzuwirken (Europäische Kommission 2011).
- Aktionen und Programme der Weltgesundheitsorganisation (WHO), wie beispielsweise die erste Woche der Verkehrssicherheit der Vereinten Nationen im Jahre 2007, die Durchführung einer ersten Ministerkonferenz zur Straßenverkehrssicherheit im Jahre 2009 und die Ausrufung der Jahre 2010 bis 2020 als Jahrzehnt der Verkehrssicherheit (WHO 2012).

¹ Gesetze werden nicht explizit im Literaturverzeichnis referenziert; die Literatur der öffentlichen Gesetzgebung ist elektronisch für Deutschland unter (Juris.de 2011) und für Europa unter (EUR-Lex 2011) zu finden.

Abb. 1.1 Aspekte und Umfeld des Verkehrs. (Schnieder 2007)



Zu den vielen Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit, z. B. durch Gesetzgebung, Verkehrssicherung, Erziehung, Fahrzeuggestaltung oder durch Sanktionen, gehört auch die öffentlich zugängliche Dokumentation von tatsächlichen Unfallzahlen und von Unfallberichten. Durch Transparenz wird, auch im nationalen Vergleich, fast ein Ansatz mit Wettbewerbscharakter erzeugt, die Verkehrssicherheit zu steigern.

Aus wissenschaftlicher Sicht soll auch dieses Buch einen Beitrag zur Verkehrssicherheit leisten. So hilft die wissenschaftliche Darstellung, ein Verständnis für die komplexen Zusammenhänge der Erzeugung von Verkehrssicherheit zu fördern und geeignete Maßstäbe für die Bewertung der Verkehrssicherheit zu finden. Hierfür bietet eine systematische Strukturierung und ihre darauf aufbauende Modellierung eine gute Voraussetzung. Die konkrete Beurteilung möglicher Maßnahmen und schließlich ihre Umsetzung durch politisch-gesetzliche Rahmenbedingungen und technisch-wirtschaftliche Beiträge sind die angestrebten Ergebnisse.

1.2 Aspekte der Verkehrssicherheit

Verkehr ist eine höchst komplexe Ausdrucksform mobiler Gesellschaften. Das individuelle Bedürfnis nach Ortsveränderung resultiert in einer konkreten Verkehrsnachfrage innerhalb des Verkehrssystems. Das Verkehrssystem selbst wird im Kontext menschlicher und gesellschaftlicher, politischer, wissenschaftlicher, wirtschaftlicher, umweltrelevanter und technischer Einflussgrößen betrieben. Diese Umfeldaspekte wirken zum einen auf das Verkehrssystem ein, werden durch das Verkehrssystem selbst beeinflusst und stehen teilweise in enger wechselseitiger Beziehung untereinander. Dieses Beziehungsgeflecht ist in Abb. 1.1 schematisch dargestellt.

Bei näherer Betrachtung des Verkehrssystems kann auch dieses weiter differenziert werden, wie es in Abb. 1.2 schematisch dargestellt ist. Die Frage nach dem Zweck eines Verkehrssystems führt auf die *Verkehrsobjekte*, die konkreter Gegenstand von Ortsveränderungen

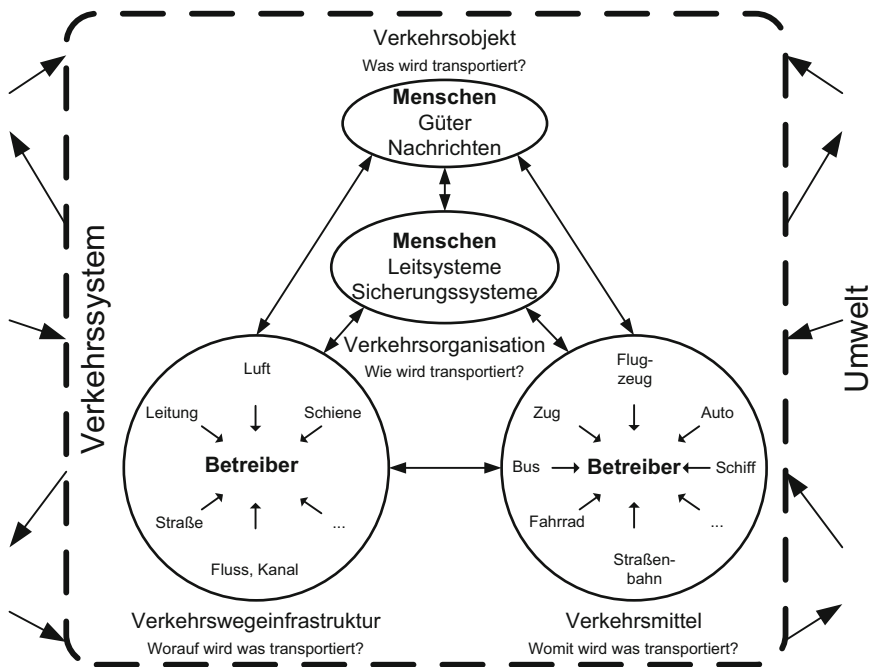


Abb. 1.2 Schematische Darstellung des Verkehrssystems mit Konstituenten und Rollen

sind. Dementsprechend kann Verkehr in die Bereiche Güterverkehr und Personenverkehr differenziert werden, für die gegebenenfalls spezifische Ausprägungen von Verkehrssystemen bestehen. Die Ortsveränderungen vollziehen sich mittels *Verkehrsmitteln* (beispielsweise Busse und Bahnen), die sich der vorhandenen *Verkehrswegeinfrastruktur* (Schienenwege und Straßen) bedienen. Die *Verkehrsorganisation* konkretisiert sich in der Ausgestaltung betrieblicher Regelwerke, die auch für die Gestaltung technischer Leitsysteme berücksichtigt werden müssen. Diese verschiedenen Konstituenten des Verkehrssystems stehen wiederum eng miteinander in Beziehung. Das Verkehrssystem steht wiederum – wie bereits in Abb. 1.1 dargestellt – mit seinem Umfeld in einer engen wechselseitigen Beziehung.

In ähnlicher Weise ist Sicherheit in entwickelten Zivilisationen ein multivalenter Eigenschaftskomplex mit unterschiedlichsten Ausprägungen, die sich auf viele Bereiche menschlichen Daseins bezieht. Eine Schwierigkeit, für die Thematik *Verkehrssicherheit* einen wissenschaftlichen Gesamtansatz zu finden, besteht in der aktuell bestehenden terminologischen Unschärfe (Schnieder und Schnieder 2010; Schnieder 2010). Diese wird durch den außerordentlich hohen begrifflichen Umfang der Bereiche (= Domänen) Verkehr und Sicherheit und der daraus resultierenden kombinatorischen Komplexität der diversen Einzelaspekte gefördert.

Verkehrssicherheit ist, wenn die zu transportierenden Objekte mittels Verkehrsmitteln mit mehr oder weniger hohen Geschwindigkeiten zwischen räumlich entfernten Quellen und Senken auf Verkehrswegen (vgl. Abb. 1.2) unbeschädigt ihre Ziele erreichen

Verkehr als Ausdruck menschlicher Interaktion birgt jedoch grundsätzlich Risiken. Alle an Verkehrsprozessen Beteiligten handeln nicht immer in der beabsichtigten oder erwarteten Weise, so dass es – glücklicherweise selten – zu Unfällen kommt. Im Fall einer Kollision von Verkehrsmitteln mit anderen oder der Verkehrsweinfrastruktur sind meist Schäden unterschiedlichen Ausmaßes die Folge. Schäden können im Einzelnen sowohl häufig reversibel auftreten (z. B., Verletzungen, Blechschäden) und dann behoben werden als auch irreversible Folgen haben und zu Verkehrstopfern und Unglücken mit beklagenswerten Folgen führen (z. B. Todesfall, Totalschaden). Neben den physischen Beeinträchtigungen bis hin zum Verlust von Menschenleben sind das damit verbundene Leid und die Trauer eine erhebliche psychische Belastung und menschliche Tragödie.

Verkehrssicherheit kann aus verschiedensten Gesichtspunkten betrachtet werden, beispielsweise in unterschiedlichen Zeithorizonten, unter gesellschaftlichen, wirtschaftlichen, finanziellen, technischen, juristischen oder weiteren Aspekten. Eine Strukturierung eines derartig komplexen Terminologie- und Wirk Geflechts ist ungemein schwierig und stellt eine große wissenschaftliche Herausforderung dar. Zwar können komplexe Begriffsgebäude inhaltlich und thematisch aufgrund terminologischer und taxonomischer Kriterien sauber differenziert werden. Allerdings gibt es bislang kaum Beschreibungsmittel und rechnergestützte Werkzeuge, um derart komplexe Sachverhalte mit hinreichender Transparenz zu dokumentieren. Insofern wird an dieser Stelle noch keine vollständige Darstellung des Begriffsumfangs von *Verkehrssicherheit* angestrebt. Jedoch soll durch eine kommentierte Auflistung wichtiger Aspekte die Notwendigkeit des obigen Anspruchs betont werden. Folgende Aspekte charakterisieren die Fülle des Betrachtungsgegenstandes Verkehrssicherheit:

- *Schaden*: Ideale Verkehrssicherheit hat keinen Schaden. Reale Verhältnisse zeigen Schadensaufkommen verschiedenster Art. Diese können beispielsweise nach Art, Ausmaß, Umfang, Häufigkeit, Ort, Umstand, Verkehrssystem und -situation klassifiziert werden.
- *Verkehrsmode*: Verkehrssicherheit im Landverkehr stellt sich anders dar als im Luft- oder Schiffsverkehr. Im Landverkehr muss nach der Modalität des Verkehrs, d. h. nach Fußgänger- und Radfahrerverkehr, motorisiertem Verkehr mit Krafträdern, Personenkraftwagen, Bussen und Lastkraftwagen, aber auch – zumeist in anderen Kontinenten – nach mit Tieren bespannten Fuhrwerken unterschieden werden.
- *Wirtschaft*: Ausprägungen wirtschaftlicher Aspekte der Verkehrssicherheit betreffen die Volkswirtschaft als Ganzes, beispielsweise hinsichtlich der aufzuwendenden Kosten für Primär- und Sekundärschäden (zum Beispiel für die Reparatur von Unfallfahrzeugen, die Wiederherstellung der Infrastruktur und Maßnahmen zur Dekontaminierung der Umgebung) und der Schadensbehebung und -beseitigung. In sektoraler beziehungsweise betriebswirtschaftlicher Hinsicht gehören die Versicherungswirtschaft, die Hersteller- und Instandhaltungsindustrie sowie das Gesundheitswesen dazu.
- *Politik und Gesellschaft*: Aus verdichteter gesellschaftlicher Wahrnehmung durch Medien sowie Bündelung der vielfältigen Interessen durch Parteien, Verbände, Bürgerbewegungen und Vereine resultieren umfangreiche Regularien auf allen Hierarchieebenen der

Gesellschaft und politischen Institutionen. Dadurch wird ein komplexes normatives Netz aus Gesetzen, Verordnungen, Richtlinien, Anweisungen und diversen ähnlichen Vorgaben und Bestimmungen geknüpft (wie Normen, Standards, Arbeitsanweisungen). Der bestehende Rechtsrahmen und die darin verankerten anerkannten Regeln der Technik bilden ein umfangreiches Regelwerk zur Erreichung der Verkehrssicherheit im gesamten Lebenslauf aller am Verkehr beteiligten Personen und Artefakte. In diesen Zusammenhang müssen auch gesellschaftliche Merkmale wie Demografie, Lebensstile (Kleidung, Sprache, Moral, Konsum, Aufenthaltsorte, Siedlungsverhalten usw.), sozialer Status und Ähnliches unter regionalen und kulturellen Ausprägungen einbezogen werden.

- *Psychologie*: In der individuellen persönlichen Sicht wird Verkehrssicherheit höchst subjektiv erlebt und wahrgenommen. Psychologische Merkmale sind jedoch auch die Risikobereitschaft, Disziplin der Regelbefolgung und andere kognitive Elemente beim aktivem Fahrverhalten oder beim passiven Medienkonsum. Diese Aspekte umfassen Erziehung, Geschlecht, Lebensalter, Emotion, Verantwortung und Wertvorstellungen. Hierzu hat sich mit der Verkehrspsychologie eine eigene Wissenschaftsdisziplin etabliert (Krüger et al. 2009).
- *Technik*: Verkehrswege und vor allem Verkehrsmittel sind technische Produkte und Systeme hoher Komplexität. Das gilt für Straßen und Schienenwege, Straßen-, Schienen-, Luft- und Wasserfahrzeuge sowie weitere Anlagen und Bauten der Infrastruktur, wie beispielsweise Brücken, Bahnhöfe und Flughäfen. Alle ihre Bauteile und Komponenten sowie ihre Kombination beeinflussen die Verkehrssicherheit. Auch die direkte und indirekte Führung der Verkehrsmittel durch Menschen, wie Fahrzeugführer, Fahrdienstleiter oder Fluglotsen, in der Wechselwirkung mit der Bedienung technischer Systeme, oder Anzeige durch diese, muss hier einbezogen werden.
- *Rollen und Interessen*: Die Phasen im Lebenslauf von Verkehrsmitteln zeigen die Differenzierung verschiedener funktionaler Rollen und interessengeleiteter Ausübung: Identifizierbar sind vorrangig die Hersteller von Verkehrsmitteln und -infrastruktur, sodann die Eigentümer und Betreiber, welche ihre Angebote an Mitteln und Diensten an die Nutzer adressieren. Zum Kontext gehört noch die Rolle der Aufsicht, die von verschiedenen legitimierten Institutionen ausgeübt wird, wie beispielsweise Polizei, Zulassungsbehörden oder Überwachungseinrichtungen. Auch interessendominierte Zusammenschlüsse seien hier erwähnt, wie beispielsweise Automobilklubs, Herstellerverbände auf nationaler und übernationaler Ebene sowie Natur- und Umweltschutzverbände.

Diese thematische Auflistung ist weder in Breite noch Tiefe vollständig, zeigt jedoch bereits die ungeheure Vielfalt der Aspekte unter denen Verkehrssicherheit behandelt werden kann. Diese Vielfalt kann und soll in diesem Buch nicht vollständig abgedeckt werden. Denn mit jeder Innovation wird der Umfang an Möglichkeiten vergrößert, die Verkehrssicherheit zu beeinflussen, gleiches gilt für rechtliche Einflussnahmen und Methoden.

1.3 Wissenschaftlicher Ansatz

Der Ausdruck *Verkehrssicherheit* wird sehr allgemein und mit vielen unterschiedlichen assoziierten Bedeutungen verwendet. Für eine wissenschaftliche Behandlung in Forschung und Lehre müssen die vorhandenen Bedeutungsunterschiede einerseits sorgfältig analysiert und spezifiziert, andererseits aber besonders unter der Zielstellung eines konzeptionellen systemischen Ansatzes methodisch entwickelt werden. Aus einer begrifflichen Strukturierung der Verkehrssicherheit und einer Ziel- und Perspektivskizze wird in diesem Buch ein wissenschaftlicher Gesamtansatz mit einem strukturellen und einem methodischen Ansatz entwickelt.

1.3.1 Grundlegende konzeptionelle Ansätze

Eine ausgesprochene Erwartung der wissenschaftlichen Behandlung der Verkehrssicherheit ist es, Forschungen zur Erhöhung der Sicherheit als Komplement von Risiken mit Personen- und Sachschaden im Verkehr zu initiieren. Hierfür stehen zwei grundlegend unterschiedliche Konzeptionen (zeitlich und verkehrlich) zur Verfügung, die mit strukturellen wie methodischen Ansätzen korrelieren.

Innerhalb des *zeitlichen* Betrachtungskonzepts können zwei methodisch unterschiedliche Ansätze differenziert werden:

- Die *analytisch-retrospektive Vorgehensweise* kann unter der Devise „Lernen für die Zukunft aus vergangenen Ereignissen“ subsumiert werden. Diese Vorgehensweise beginnt mit einer wissenschaftlichen Bestandsaufnahme und Fallstudien sicherheitsrelevanter Belange zum Zwecke der Klassifizierung und Häufigkeitsanalyse. Resultierende Sicherheitsmaßnahmen sind in der Regel Ursachen- oder Symptomvermeidung, Regularien oder häufig passive Schutzeinrichtungen.
- In der *synthetisch-prospektiven Vorgehensweise* werden notwendige Transportfunktionen bereits von Beginn an sicherheitsgerichtet konstruiert. Mit Hilfe zukünftig immer leistungsfähigerer Informationsverarbeitung kann das sichere Verkehrsgeschehen darüber hinaus aktiv geplant und gesteuert werden.

Innerhalb des *verkehrlichen* Betrachtungskonzepts können strukturell einerseits autonome und andererseits kooperative Ansätze unterschieden werden:

- Die *autonomen Ansätze* realisieren die Verkehrssicherheit durch fahrzeugseitige Einrichtungen. Ausgehend von den Erfolgen passiver Maßnahmen mechanischer Energie verzehrender Fahrzeugkonstruktion werden zunehmend aktive Maßnahmen mit sogenannten Fahrerassistenzsystemen immer höheren Automatisierungsgrades verwirklicht. Die Autonomie des Einzelfahrzeugs steht hierbei nach wie vor im Vordergrund.

- *Die kooperativen Ansätze* werden beispielsweise durch die Interaktion des Menschen mit dem Fahrzeug in der akuten Verkehrsteilhabe realisiert. Der Mensch mit seiner hochkomplexen Sensorik und der intelligenten Informationsverarbeitung handelt im Verkehrsgeschehen in Verbindung mit der Fahrzeugaktorik. Allerdings erweist sich der Mensch zuverlässigkeitsbezogen im Zuge der Verkehrsentwicklung zunehmend als sicherheitskritisches Element. Einerseits kann man daher konstruktiv durch technisch hochredundante Multisensorik und Informationsverarbeitung das Risiko fahrzeugseitig verringern. Andererseits sind durch dezentrale ad-hoc Kommunikationsmöglichkeiten zwischen Fahrzeugen und Austausch von lokalen, fahrzeugseitig ermittelten Verkehrszustandsinformationen ganz neue Formen der Verkehrsorganisation denkbar, die biologischen Vorbildern der Systemorganisation entsprechen (Axelrod und Raub 2009; Miller und Neubauer 2010; Hübner 2012).

1.3.2 Methodischer Ansatz

Hinsichtlich der Weiterentwicklung des skizzierten konzeptionellen Ansatzes sind geeignete Modelle erforderlich, mit den Stichworten *Zustandsmodelle*, *selbst organisierte*, *strukturell veränderbare Regelsysteme*, *dezentrale Strukturen*, *Agentenkonzepte* umschrieben werden können. Methodisch bieten fortgeschrittene Konzepte der Regelungstechnik und der künstlichen Intelligenz hierfür eine gute Grundlage. Wird nun Verkehr modellhaft als komplexes dynamisches System mit einem hochdimensionalen Zustandsraum aufgefasst, kann Sicherheit als erwünschte oder komplementär Unsicherheit als auszuschließende Eigenschaft derart definiert werden, indem unerwünschte bzw. unzulässige Zustände ausgeschlossen werden. Der Ausschluss der Sicherheit verletzender Zustände kann somit durch die Sequenz folgender Schritte gezielt erwirkt werden, welche den konzeptionellen Aufbau des Buches bestimmen:

- *Begrifflich-thematische Erfassung des Gegenstandsbereichs* und terminologisch-taxonomische Strukturierung des Gegenstandsbereichs: Zunächst ist eine terminologische Analyse der Verkehrssicherheit zweckmäßig. Ein (erster) Ansatz zur Bedeutungsklä rung des Wortes *Verkehrssicherheit* ist die Diskussion seiner Bestandteile *Verkehr* und *Sicherheit* zuerst allein und danach in ihrem Zusammenspiel. Hierbei gilt es, die Verkehrssicherheit als Terminus mit ihren vielen Facetten zu erfassen und so ein möglichst umfassendes, wenn nicht gar vollständiges Spektrum ihrer Eigenschaften, Merkmale, Größen und (Zahlen -) Werte aufzuspannen.
- *Entwicklung und Auswahl von Modellkonzepten*, wobei eine systemtheoretische Fundierung besonders erfolg versprechend ist. Die systemtheoretische Modellierung bietet den Ansatz zu einer ganzheitlichen Erschließung der Verkehrssicherheit. Durch diese gedankliche und ingenieurwissenschaftliche Abstraktion gelingt es, das Wesen der Verkehrssicherheit ganzheitlich zu erfassen und mit ingenieurwissenschaftlichen Methoden

exakt zu beschreiben (Beispiele sind Prozessabläufe, Steuerungs- und Regelungskonzepte, stochastische Prozesse). Aus diesen Ansätzen resultieren Modelle in fortschreitender Verfeinerung.

- *Integration von Modellkonzepten*: Werden die bestehenden Einzelansätze geeignet modelliert, kann auf dieser Basis sogar eine Kombination erfolgen. Dies gelingt, wenn auf integrations- oder transformationsfähige Modellkonzept zurückgegriffen wird.
- *Formalisierung der Modellkonzepte* mit geeigneten und möglichst formalen Beschreibungsmitteln. Den methodischen Unterbau für die Formalisierung liefert die Theorie der technischen Zuverlässigkeit und der Systemdynamik mit ihren zugehörigen mathematischen Theorien wie Statistik, Stochastik, Analysis und Netztheorie.
- Entwicklung von *formalisierten Modellen* und Entwicklung von Untersuchungsmethoden mittels der formalisierten Modellkonzepte.
- *Analytische Untersuchung* des Systemverhaltens dank der Mächtigkeit des gewählten Beschreibungsmittels durch Beweise, symbolische Analyse, Simulationen und Tests. Formal spezifizierte Modelle vermögen die historische Entwicklung der Verkehrssicherheit und -sicherung aufgrund verschiedenster Einflüsse zu erklären. Sie erlauben Muster und Prognosen für die zukünftige Fortentwicklung der Verkehrssicherheit herzuleiten.
- *Simulation und Demonstration im Labor*, wie beispielsweise die Entwicklung von Maßstabs- und Verhaltensmodellen, Virtual-Reality-Simulatoren, „Human-in-the-loop“ oder Echtzeitdemonstratoren.
- *Simulation und Demonstration in-situ*, wie beispielsweise Entwicklung eines Untersuchungsinstrumentariums für Demonstratoren und Realexperimente (z. B. Messeinrichtungen, Messfahrzeuge und Testplattformen).
- *Konstruktive Durchbildung* (materiale Realisierung) des modellierten Systems (beispielsweise passive Sicherheit).
- *Implementierung* immaterieller Steuerungs- und Überwachungsfunktionen (aktive Sicherheit).
- *Adaption der Verkehrsorganisation* im Sinne einer möglichen Konzeption und Realisierung neuer Verkehrsformen oder Produktionskonzepte unter Verwendung leittechnischer Einrichtungen.

1.3.3 Paradigmen

Die Systemtheorie ist ein klassischer Ansatz zum Verständnis technischer und auch anderer Systeme. Sie stellt eine wesentliche Grundlage dieses Buches dar. In ihrer aktuellen Entwicklung erfährt die Systemtheorie gegenwärtig die folgenden entscheidenden Erweiterungen:

- Modellierung kontinuierlich-diskreten, stochastischen und nichtlinear-chaotischen Verhaltens zur analytisch-formalen Behandlung komplexer Dynamiken
- Integration begrifflich-pragmatischer Eigenschaften wie beispielsweise den die Sicherheit einschließenden Begriff Verlässlichkeit

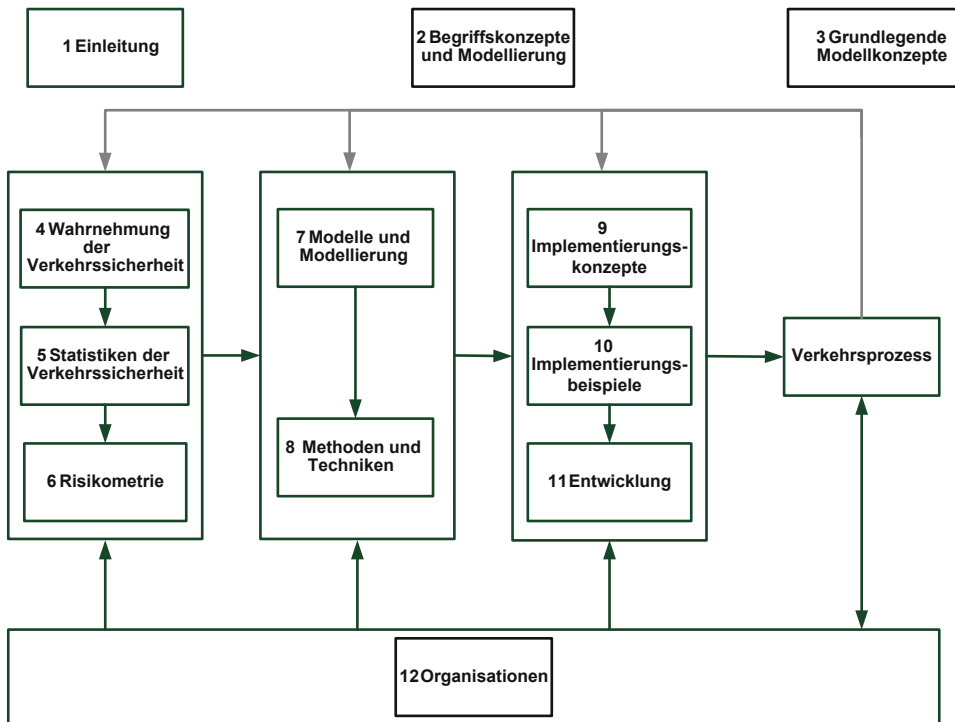


Abb. 1.3 Inhaltliche Gliederung des Buches

- Organisation durch das Paradigma der Objektorientierung mit den zugehörigen Formalismen und
- Fortentwicklung adäquater Beschreibungsmittel und rechnergestützter Werkzeuge im akademischen und industriellen Bereich.

In der Zusammenführung dieser Ansätze wurde das Konzept der Risikogenese entwickelt, welches den kausalen Entstehungsprozess von Schäden im Verkehr verstehbar macht. Das Kernmodell der Risikogenese – in Abschn. 3.5.2 eingeführt – dient zur begrifflichen Schärfung und mit zahlreichen konzeptkonformen Erweiterungen zur Erklärung der vielen Sicherungskonzepte der Risikobeherrschung und zur qualitativen wie quantitativen Risikoanalyse.

1.4 Aufbau des Buchs

Das vorliegende Buch ist in vier Teile und zwölf Kapitel gegliedert, die inhaltlich aufeinander aufbauen, wie Abb. 1.3 zeigt. Die Kap. 1 bis 3 fassen die begrifflichen Grundlagen zusammen. Die Kap. 4, 5 und 6 behandeln subjektive und objektive Darstellungen sowie

die Metriken der Verkehrssicherheit. Methoden zur Modellierung und Analyse der Verkehrssicherheit sind in Kap. 7 und 8 beschrieben. Die Kap. 9, 10 und 11 enthalten die grundlegenden Konzepte und Beispiele von Realisierungen und deren technische Entwicklung um Verkehrssicherheit zu erreichen. Die rechtlich-organisatorische Entwicklung der Verkehrssicherheit fasst das Kap. 12 zusammen.

Die Inhalte der einzelnen Kapitel werden nachfolgend kurz umrissen:

Kapitel 1 enthält die Einleitung. Konventionelle Darstellungen zur Verkehrssicherheit gehen primär vom Unfall als sichtbarem Ereignis unzutreffender Verkehrssicherheit in retrospektiver Analyse aus. Da in diesem Buch ein methodisch komplementärer Ansatz gewählt wird, welcher die Einflussgrößen auf die Verkehrssicherheit grundsätzlich diskutiert, wird dieser im ersten Kapitel im Grundsatz vorgestellt. Die Gliederung dieses Buches folgt dem dargestellten wissenschaftlichen Ansatz.

Kapitel 2 stellt das Begriffskonzept und seine Modellierung dar. Ein tiefer gehendes Verständnis des Gegenstandsbereichs Verkehrssicherheit und ihrer Phänomene wird durch ein umfassendes Verständnis fachsprachlicher Kommunikation möglich, welches auch die Grundlage einer weitgehend fehlerfreien Kommunikation darstellt. Daraus resultieren eine einheitliche Terminologie und Taxonomie, um durch präzise Begrifflichkeiten die leider üblichen Verständnisschwierigkeiten zu überwinden. Eine Darstellung von Terminologiegebäuden der Verkehrssicherheit mit Hilfe moderner Beschreibungsmittel der Informatik und einer systemtheoretischen Zustandsbeschreibung führt zu einer formalen Modellierung von Funktionen und Verhaltensweisen. Dieses Begriffsverständnis stellt die Grundlage dar, die Verkehrssicherheit im weiteren Verlauf des Buches auch quantitativ zu erfassen.

In *kapitel 3* werden grundlegende Modellkonzepte dargestellt, anhand welcher der Gegenstandsbereich der Verkehrssicherheit qualitativ und quantitativ erfasst werden kann. Hierzu gehören beispielsweise Grundlagen der Systemtheorie, eine stringente Unterscheidung in Ressourcen und Funktionen, sowie des Konzepts der Verlässlichkeit, welches Aspekte der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit in sich vereint. Hierdurch wird ein Rahmen eröffnet, mit welchem der komplexe Gegenstandsbereich der Verkehrssicherheit im Weiteren betrachtet wird.

Kapitel 4 diskutiert die Wahrnehmung der Verkehrssicherheit. Zur primär wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung geht der Ansatz zur Verkehrssicherheit in diesem Buch von der Wahrnehmung der Verkehrssicherheit in durchaus umfassendem Kontext aus. Dazu wird beispielsweise die Wahrnehmung in individueller und kollektiver Hinsicht, emotional, subjektiv und objektiv bis hin zum verantwortungsbewussten Handeln dargestellt.

Kapitel 5 erörtert Statistiken der Verkehrssicherheit. Dies schließt eine Rekapitulation der für die Betrachtung der Verkehrssicherheit erforderlichen mathematischen Grundlagen der Statistik mit ein. Um einen objektiven Zugang zur Verkehrssicherheit zu ermöglichen, wird eine Darstellung der Vorgehensweise ihrer statistischen Erfassung und Auswertung vorgenommen. Besonders die vielen statistisch erhobenen Daten und charakteristischen Bezugsdaten werden intensiv diskutiert.