

# **Entwicklung eines methodischen Rahmenkonzeptes für Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr**

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Mensch und Sicherheit Heft M 227**

**bast**

# Entwicklung eines methodischen Rahmenkonzeptes für Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr

von

Heinz Hautzinger  
Manfred Pfeiffer  
Jochen Schmidt

IVT – Institut für angewandte  
Verkehrs- und Tourismusforschung e.V.  
Heilbronn/Mannheim

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Mensch und Sicherheit Heft M 227**

**bast**

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines  
 B - Brücken- und Ingenieurbau  
 F - Fahrzeugtechnik  
 M - Mensch und Sicherheit  
 S - Straßenbau  
 V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

## Impressum

**Bericht zum Forschungsprojekt FE 82.342/2008:**  
 Entwicklung eines methodischen Rahmenkonzeptes für Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr

### Projektbetreuung

Claudia Evers

### Herausgeber

Bundesanstalt für Straßenwesen  
 Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach  
 Telefon: (0 22 04) 43 - 0  
 Telefax: (0 22 04) 43 - 674

### Redaktion

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

### Druck und Verlag

Wirtschaftsverlag NW  
 Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
 Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven  
 Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0  
 Telefax: (04 71) 9 45 44 77  
 Email: [vertrieb@nw-verlag.de](mailto:vertrieb@nw-verlag.de)  
 Internet: [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de)

ISSN 0943-9315  
 ISBN 978-3-86918-235-3

Bergisch Gladbach, März 2012

## Kurzfassung – Abstract

### **Entwicklung eines methodischen Rahmenkonzepts für Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr**

Vielfach soll durch Verkehrsbeobachtung die Entwicklung des Verkehrsverhaltens im Zeitverlauf aufgezeigt und/oder die Wirksamkeit von Verkehrssicherheitsmaßnahmen bewertet werden. Charakteristisch dabei ist, dass bislang für jedes Vorhaben ein eigenes Studiendesign entwickelt wird, obwohl sich die jeweiligen Forschungsfragen trotz ihrer inhaltlichen Vielfalt aus methodischer Sicht auf einige wenige Grundmuster von Aufgabenstellungen reduzieren lassen. Im vorliegenden Forschungsvorhaben geht es deshalb darum, für Erhebungen, bei denen das Verhalten von Verkehrsteilnehmern im fließenden Verkehr beobachtet wird, ein möglichst allgemein anwendbares Design zu entwickeln. Ziel des vorliegenden Projektes ist es somit auch, das Spektrum der Methodik von Verhaltensbeobachtungen im fließenden Verkehr darzustellen sowie auf Probleme und Randbedingungen aufmerksam zu machen. Damit soll all denjenigen eine Hilfestellung gegeben werden, die beabsichtigen, solche Studien durchzuführen.

In Kapitel 2 des Berichts werden zunächst einige nationale und internationale Projektbeispiele für Verhaltensbeobachtungen im fließenden Verkehr vorgestellt, auf deren Basis dann das hier in Rede stehende methodische Rahmenkonzept entwickelt wird. Kapitel 3 enthält eine Einordnung der Erhebungsmethode Verhaltensbeobachtung in den konzeptuellen Rahmen der Statistik und empirischen Sozialforschung. Im 4. Kapitel werden statistische Kennzahlen des Verkehrsverhaltens, die aus Beobachtungen gewonnen werden können, systematisiert und zusammengestellt. Kapitel 5 beschäftigt sich mit für Verhaltensbeobachtungen adäquaten Stichprobendesigns, in Kapitel 6 sind die zugehörigen Formeln für die Hochrechnung und Genauigkeitsbeurteilung (Konfidenzintervalle) der Ergebnisse aufgeführt. Kapitel 7 enthält einige methodische Hinweise zu Möglichkeiten und Grenzen der Ziehung einer Zufallsstichprobe für Verhaltensbeobachtungen, in Kapitel 8 wird der Prozess einer Verhaltensbeobachtung unter erhebungspraktischen Gesichtspunkten – basierend auf dem entwickelten Rahmenkonzept – beleuchtet. Vor der Zusammenfassung und den Empfehlungen (Kapitel 10) wird in

Kapitel 9 noch ein Vergleich des hier entwickelten methodischen Rahmenkonzepts mit der Vorgehensweise bei den aktuellen Erhebungen der BAST zum Schutzverhalten angestellt.

In den Schlussbericht sind auch die Ergebnisse eines Workshops eingeflossen, der im Rahmen dieses Projekts am 18.01.2010 in Bergisch Gladbach durchgeführt wurde.

### **Development of a methodological framework for observational surveys in moving traffic**

In many cases the temporal variation of mobility behavior and/or the effectiveness of road safety measures shall be assessed by observational surveys. As a rule, for each project a separate study design is to be developed. However, from a methodological point of view the manifold research issues can be categorized into a small number of basic patterns of research questions. Thus, the objective of the present research project is to develop a generally applicable design for surveys, where the behavior of road users is observed directly in moving traffic. Consequently, another objective is to show the methodological scope of observational surveys in moving traffic and to call attention to problems and ancillary conditions. So the intention of the present report is to provide support to those who are planning to conduct a study of this type.

In Chapter 2 some national as well as international examples for observational surveys in moving traffic are presented. These studies form the basis for the development of our methodological framework. In Chapter 3 the data collection method "observational survey" is classified under aspects of statistical methodology and empirical social research. In Chapter 4 a number of statistical mobility behavior measures which can be derived from observational surveys are arranged. Chapter 5 is dealing with sampling designs suitable for observational surveys, Chapter 6 covers the corresponding formulas for the expansion of results and the assessment of accuracy (confidence intervals). Chapter 7 contains some methodological considerations on the possibilities and constraints connected with drawing a random sample of

observation points and times in road networks. In Chapter 8 the process of an observational survey is discussed under practical aspects – based on the conceptual framework developed. Prior to the summary and recommendations (Chapter 10) a comparison between the methodological framework developed here and the procedures currently applied in surveys on road user safety behavior on behalf of BAST is given in Chapter 9.

The final report also contains the results of a project workshop held on January, 18<sup>th</sup>, 2010 in Bergisch Gladbach.

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Problemstellung und Zielsetzung</b> . . .	9	3.3.1	Kriterien zur Klassifizierung von Verkehrsverhaltensbeobachtung . . . . .	15
1.1	Ausgangslage . . . . .	9	3.3.2	Nominale, ordinale und metrische Verhaltensmerkmale . . . . .	15
1.2	Aufgabenstellung . . . . .	9	3.3.3	Ortsbezogene versus ortsunabhängige Verhaltensmerkmale . . . . .	16
1.3	Aufbau des Forschungsberichts . . . . .	10	3.3.4	Ereignis- versus zustandsbezogene Verhaltensmerkmale . . . . .	16
<b>2</b>	<b>Projektbeispiele zur Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr</b> . . . . .	10	3.3.5	Großräumige versus kleinräumige Studien . . . . .	17
2.1	Kontinuierliche Erhebungen der BAST zur Nutzung von Gurten und anderen Schutzsystemen . . . . .	10	3.3.6	Einzelstudie versus kontinuierliche Erhebung . . . . .	17
2.2	Kontinuierliche Erfassung der Leuchteinschaltquoten am Tag von Kraftfahrzeugen . . . . .	11	3.3.7	Apparative versus nicht-apparative Verhaltensbeobachtung . . . . .	18
2.3	Beobachtung der Einhaltung von Verkehrsvorschriften . . . . .	11	3.3.8	Kombination von Beobachtung und Befragung . . . . .	18
2.4	National Occupant Protection Use Survey (USA) . . . . .	12	<b>4</b>	<b>Kennzahlen des Verkehrsverhaltens aus Beobachtungen im fließenden Verkehr</b> . . . . .	19
2.5	Surveys of Seat Belt Use 2004-2005 (Kanada) . . . . .	12	4.1	Untersuchungseinheiten und Grundgesamtheit . . . . .	19
2.6	Das „Observational Seat Belt Survey Protocol“ (USA) . . . . .	12	4.1.1	Vorbeifahrten von Fahrzeugen als Untersuchungseinheiten . . . . .	19
2.7	Andere Beispiele . . . . .	13	4.1.2	Abgrenzung der Grundgesamtheit von Vorbeifahrten . . . . .	19
<b>3</b>	<b>Verhaltensbeobachtung als Methode der empirischen Verkehrsforschung</b> . . . . .	13	4.1.3	Statistische Kennzahlen zur Charakterisierung von Grundgesamtheiten . . . . .	20
3.1	Verkehrsverhaltensbeobachtung als Erhebungsform . . . . .	14	4.2	Kennzahlen für ereignisbezogene Verhaltensmerkmale . . . . .	21
3.1.1	Verkehrsverhaltensbeobachtung als spezielle Form der wissenschaftlichen Beobachtung . . . . .	14	4.2.1	Relative Häufigkeit bestimmter Verhaltensweisen (Anteilswerte) . . . . .	21
3.1.2	Einordnung in das Methodenspektrum der empirischen Sozialforschung . . . . .	14	4.2.2	Absolute Häufigkeiten von Verhaltensweisen . . . . .	22
3.2	Bestandteile einer Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr . . . . .	14	4.2.3	Arithmetische Mittelwerte und Totalwerte von Verhaltensmerkmalen . . . . .	23
3.2.1	Beobachtungsfeld . . . . .	14	4.2.4	Verhältniszahlen . . . . .	23
3.2.2	Untersuchungseinheiten . . . . .	14	4.3	Kennzahlen für zustandsbeschreibende Verhaltensmerkmale . . . . .	23
3.2.3	Beobachter und Beobachtete . . . . .	15	4.3.1	Methodisches Grundkonzept der Kennzahlenbildung . . . . .	23
3.3	Formen der Verkehrsverhaltensbeobachtung . . . . .	15			

4.3.2	Spezifische Fahrleistungstotalwerte als Kennzahlen für kategorielle Verhaltensmerkmale . . . . .	24	<b>6</b>	<b>Hochrechnung von Verhaltensbeobachtungen im fließenden Verkehr . . . . .</b>	<b>35</b>
4.3.3	Verhältniszahlen: Quotienten spezifischer Fahrleistungstotalwerte . . . . .	24	6.1	Schätzverfahren . . . . .	35
4.3.4	Durchschnittsgeschwindigkeit als Verhältniszahl bzw. harmonisches Mittel . . . . .	25	6.1.1	Mittelwertschätzung bei einstufiger Klumpenauswahl . . . . .	35
4.3.5	Mittlerer Besetzungsgrad als Verhältniszahl . . . . .	26	6.1.2	Mittelwertschätzung bei zweistufiger Auswahl . . . . .	36
<b>5</b>	<b>Stichprobendesigns für Verhaltensbeobachtungen im fließenden Verkehr . . . . .</b>	<b>27</b>	6.1.3	Vorgehen im geschichteten Fall . . . . .	36
5.1	Stichprobentheoretischer Rahmen . . . . .	27	6.2	Genauigkeitsbeurteilung . . . . .	38
5.1.1	Untersuchungseinheiten . . . . .	27	6.2.1	Varianzschätzung bei einstufiger Klumpenauswahl . . . . .	38
5.1.2	Erhebungseinheiten . . . . .	27	6.2.2	Varianzschätzung bei zweistufiger Auswahl . . . . .	40
5.1.3	Struktur des Auswahlverfahrens . . . . .	28	6.2.3	Vorgehen im geschichteten Fall . . . . .	40
5.2	Stichprobenverfahren für Verhaltensbeobachtungen im fließenden Verkehr . . . . .	29	6.3	Voraussetzungen für die Anwendbarkeit der Schätzverfahren . . . . .	41
5.2.1	Grundgesamtheit und Stichprobe . . . . .	29	<b>7</b>	<b>Methodische Hinweise zur Ziehung einer Zufallsstichprobe für Verhaltensbeobachtungen im fließenden Verkehr . . . . .</b>	<b>41</b>
5.2.2	Uneingeschränkte Zufallsauswahl von Vorbeifahrten – ein Gedankenmodell . . . . .	30	7.1	Möglichkeiten und Grenzen der Zufallsauswahl von Beobachtungseinheiten . . . . .	41
5.2.3	Einstufige Klumpenauswahl von Vorbeifahrten . . . . .	30	7.1.1	Zufallsauswahl bei kleinräumigen Studien . . . . .	42
5.2.4	Zweistufige Auswahl von Vorbeifahrten . . . . .	30	7.1.2	Zufallsauswahl bei großräumigen Studien . . . . .	42
5.3	Primärauswahl: Bestimmung von Beobachtungsorten und -zeiten . . . . .	31	7.2	Besonderheiten bei periodischer Verhaltensbeobachtung (Längsschnittstudien) . . . . .	44
5.3.1	Bestimmung der Beobachtungsorte . . . . .	31	7.3	Bewusste Auswahl von Beobachtungsorten . . . . .	45
5.3.2	Bestimmung der Beobachtungszeiten . . . . .	31	<b>8</b>	<b>Erhebungspraktische Aspekte einer Verkehrsverhaltensbeobachtung . . . . .</b>	<b>45</b>
5.3.3	Bestimmung der Beobachtungseinheiten als Kombinationen von Orten und Zeiten . . . . .	31	8.1	Schritt 1: Abgrenzung des Untersuchungsgegenstands . . . . .	45
5.3.4	Schichtung der Beobachtungseinheiten . . . . .	32	8.2	Schritt 2: Auswahl der Beobachtungsorte . . . . .	46
5.4	Sekundärauswahl: Bestimmung der zu erfassenden Vorbeifahrten . . . . .	32	8.3	Schritt 3: Auswahl der Beobachtungszeiten . . . . .	47
5.5	Bemerkungen zu den erforderlichen Stichprobenumfängen . . . . .	33			

8.4	Schritt 4: Bereitstellung technischer Hilfsmittel und Beobachterschulung . . .	47
8.5	Schritt 5: Durchführung der Beobachtung . . . . .	48
8.6	Schritt 6: Auswertung und Interpretation der Ergebnisse . . . . .	49
<b>9</b>	<b>Beurteilung der Erhebungen zum Sicherungsverhalten vor dem Hintergrund des entwickelten Rahmenkonzepts . . . . .</b>	<b>50</b>
9.1	Erhebungsstandorte . . . . .	51
9.2	Durchführung der Erhebungen und Auswahl der Vorbeifahrten . . . . .	51
9.3	Resümee . . . . .	52
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung und Empfehlungen . . . . .</b>	<b>53</b>
10.1	Das methodische Rahmenkonzept im Überblick . . . . .	53
10.2	Empfehlungen zur Umsetzung . . . . .	56
<b>Literatur</b>	. . . . .	<b>59</b>

## Glossar

Im Folgenden werden zunächst einige wichtige Begriffe definiert:

(Insassen-)Vorbeifahrt: Passieren von Fahrzeugen bzw. Fahrzeuginsassen (ggf. Fußgängern) an einem fest definierten Beobachtungspunkt; Vorbeifahrten sind die Träger der Merkmale, die im Rahmen einer Verkehrsverhaltensbeobachtung erfasst werden

Untersuchungseinheit: Im Fall von Verkehrsverhaltensbeobachtungen ist eine Untersuchungseinheit die Vorbeifahrt an einem Straßenquerschnitt des Untersuchungsgebiets zu einem Zeitpunkt innerhalb des Untersuchungszeitraums; Vorbeifahrten sind Ereignisse, die in Raum und Zeit stattfinden und an bestimmten Orten zu bestimmten Zeiten beobachtet werden können

Untersuchungsmerkmal (Verhaltensmerkmal): Die Eigenschaften von Vorbeifahrten, auf welche sich eine Verhaltensbeobachtung bezieht, stellen die Untersuchungsmerkmale dar (z. B. Gurttragen bei der Vorbeifahrt ja/nein)

Beobachtungseinheit (Erhebungseinheit): Kombination eines Beobachtungspunktes (z. B. Straßenquerschnitt) mit einem Zeitintervall; die Untersuchungseinheiten, welche einer Beobachtungseinheit zugeordnet sind, bilden einen „Klumpen“; wegen des Ereignischarakters von Vorbeifahrten kann als Sonderfall auch die Klumpengröße null vorkommen (keine Vorbeifahrt am Beobachtungsort während des Beobachtungsintervalls)

Grundgesamtheit: Gesamtheit aller Vorbeifahrten, die in einem Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums stattfinden; je nach Untersuchungsmerkmal interessieren nur Vorbeifahrten an ganz bestimmten Punkten (z. B. Lichtsignalanlagen bei der Beobachtung von Rotlichtverstößen) oder an allen Punkten im Straßennetz

Stichprobe: Teilmenge derjenigen Untersuchungseinheiten aus der Grundgesamtheit aller Untersuchungseinheiten, an denen das interessierende Untersuchungsmerkmal beobachtet wird; bei der Verhaltensbeobachtung wird die Stichprobe von den Vorbeifahrten gebildet, die an den aus-



gewählten Beobachtungsorten während des betreffenden Beobachtungszeitintervalls vom Beobachterteam erhoben worden sind

Einfache Zufallsauswahl: Auswahl von  $n$  Untersuchungseinheiten aus einer Grundgesamtheit von  $N$  Untersuchungseinheiten derart, dass jede der  $N!/n!(N - n)!$  möglichen Stichproben die gleiche Auswahlwahrscheinlichkeit hat; bei Verhaltensbeobachtungen kommt dieses Auswahlverfahren nicht in Betracht, da es kein Verzeichnis der Untersuchungseinheiten (Vorbeifahrten) gibt, welches als Auswahlgrundlage dienen könnte

Einstufige Klumpenauswahl: Bei einer einstufigen Klumpenauswahl bezieht sich der Auswahlvorgang nicht auf die eigentlichen Untersuchungseinheiten, sondern auf Aggregate von solchen Einheiten (die „Klumpen“); innerhalb der Klumpen (Primäreinheiten) werden alle darin enthaltenen Elemente (Sekundäreinheiten) erfasst; im Fall von Verhaltensbeobachtungen sind Kombinationen von Beobachtungspunkten und Zeitintervallen (= Beobachtungseinheit) die Primär- und Vorbeifahrten die Sekundäreinheiten

Zweistufige Zufallsauswahl: Bei einer zweistufigen Zufallsauswahl wird innerhalb jeder Primäreinheit nochmals eine Zufallsauswahl von Sekundäreinheiten vorgenommen; im Fall von Verhaltensbeobachtungen heißt dies, dass am Beobachtungsort während des Beobachtungszeitintervalls zwar alle Vorbeifahrten der Zahl nach erfasst werden, dass das Untersuchungsmerkmal aber nur bei einem zufällig ausgewählten Teil der Vorbeifahrten erhoben wird

# 1 Problemstellung und Zielsetzung

## 1.1 Ausgangslage

Es gibt eine ganze Reihe von sicherheitsrelevanten Merkmalen des Verkehrsverhaltens, die mittels Beobachtung der betreffenden Personen oder Fahrzeuge bei ihrer Verkehrsteilnahme, d. h. im fließenden Verkehr, während eines bestimmten Beobachtungszeitintervalls von einem festen Beobachtungsort<sup>1</sup> aus erhoben werden können. Für die Verkehrssicherheitsforschung sind dabei Charakteristika des persönlichen Sicherungsverhaltens der Nutzer von motorisierten und nicht motorisierten Verkehrsmitteln (Gurtragen, Tragen von Helmen und Schutzkleidung) sowie der Sicherung mitfahrender Kinder (Verwendung von Kinderrückhaltesystemen) von besonderer Bedeutung.

Neben den eben genannten Verhaltensmerkmalen, welche die passive Sicherheit betreffen, gibt es weitere direkt beobachtbare Merkmale des Verkehrsverhaltens, die sich vorrangig auf die aktive Sicherheit beziehen (z. B. Nutzung von Tagesfahrlicht). Auch viele Verhaltensmerkmale, welche die Einhaltung von Verkehrsregeln beschreiben, können im Rahmen entsprechender Erhebungen in der oben geschilderten Weise beobachtet werden (Verhalten der Fahrzeugführer an Fußgängerüberwegen, Lichtsignalanlagen, Kreisverkehrsplätzen u. Ä.).

Vielfach soll durch Verkehrsbeobachtung die Entwicklung des Verkehrsverhaltens im Zeitverlauf aufgezeigt und/oder die Wirksamkeit von Verkehrssicherheitsmaßnahmen bewertet werden. Bekanntestes Beispiel ist sicherlich das jährlich durchgeführte BAST-Projekt „Kontinuierliche Erhebungen zum Schutzverhalten von Verkehrsteilnehmern“ (zuletzt FE 82.320/2008 „Sicherung durch Gurte und andere Schutzsysteme 2008“). Aber auch in vielen anderen Forschungsvorhaben stellt die Verhaltensbeobachtung ein zentrales Element dar.

Charakteristisch dabei ist, dass bislang für jedes Vorhaben ein eigenes Studiendesign entwickelt wird, obwohl sich die jeweiligen Forschungsfragen trotz ihrer inhaltlichen Vielfalt aus methodischer Sicht auf einige wenige Grundmuster von Aufga-

benstellungen reduzieren lassen. Vor diesem Hintergrund erscheint es Erfolg versprechend, für Erhebungen, bei denen das Verhalten von Verkehrsteilnehmern im fließenden Verkehr beobachtet wird, ein möglichst allgemein anwendbares Design zu entwickeln.

## 1.2 Aufgabenstellung

Vor dem oben geschilderten Hintergrund dient das vorliegende Projekt „Entwicklung eines methodischen Rahmenkonzepts für Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr“ dem Zweck, zukünftig verschiedenartige Fragestellungen, zu deren Beantwortung man auf Daten aus Beobachtungen des Verhaltens im fließenden Verkehr angewiesen ist, effizienter bearbeiten zu können.

An ein solches Rahmenkonzept sind folgende Anforderungen zu stellen:

- Zusammenfassung der verschiedenen für die Forschungspraxis relevanten Fragestellungen zu einigen wenigen Grundtypen, die im Hinblick auf die Erhebungsmethodik (weitgehend) gleich behandelt werden können.
- Bereitstellung von Erhebungsdesigns für die Grundtypen von Verhaltensbeobachtungen im fließenden Verkehr mit Gewährleistung von
  - längsschnittlicher Vergleichbarkeit der Beobachtungsdaten,
  - Repräsentativität der Ergebnisse für das Verkehrsgeschehen und die betreffenden Verkehrsteilnehmergruppen,
  - Praktikabilität und Kosteneffizienz der Vorgehensweise.
- Spezifizierung des methodischen Rahmenkonzepts im Hinblick auf
  - generelle Anforderungen an Beobachtungsstandorte und Beobachtungszeiten,
  - Periodizität der Erhebungen,
  - notwendige Arbeiten zur Erstellung einer Auswahlgrundlage für die Stichprobenziehung,
  - erforderliche Stichprobenumfangs (Anzahl Beobachtungsstandorte; Anzahl und Länge der Beobachtungszeitintervalle),

<sup>1</sup> So genannte „Moving observer“-Methoden, bei denen der Beobachter sich während der Verhaltensbeobachtung selbst im Verkehr fortbewegt, werden hier nicht behandelt.

- Auswahlverfahren für die Beobachtungsstandorte und -zeitintervalle,
- Erhebungsmethoden zur Erfassung der jeweiligen Verhaltensmerkmale der Untersuchungseinheiten (einschließlich videobasierte Datenerfassung),
- Hochrechnungsverfahren zur Schätzung der interessierenden Kennzahlen des Verkehrsverhaltens (z. B. Gurttragequote, Lichteinschaltquote und Anhaltequote an Fußgängerüberwegen) einschließlich Verfahren zur Schätzung des Stichprobenfehlers (Konfidenzintervalle).

Ziel des vorliegenden Projektes ist es somit, das Spektrum der Methodik von Verhaltensbeobachtungen im fließenden Verkehr darzustellen sowie auf Probleme und Randbedingungen aufmerksam zu machen. Damit soll all denjenigen eine Hilfestellung gegeben werden, die beabsichtigen, solche Studien durchzuführen. Allerdings erscheint es kaum möglich, eine universell gültige „Gebrauchsanleitung“ zu erstellen, wie Verhaltensbeobachtungen im fließenden Verkehr durchzuführen sind. Dies kann immer nur anhand der jeweiligen konkreten Fragestellung entschieden werden.

### 1.3 Aufbau des Forschungsberichts

In Kapitel 2 des Berichts werden zunächst einige nationale und internationale Projektbeispiele für Verhaltensbeobachtungen im fließenden Verkehr vorgestellt, auf deren Basis dann das hier in Rede stehende methodische Rahmenkonzept entwickelt wird. Kapitel 3 enthält eine Einordnung der Erhebungsmethode „Verhaltensbeobachtung“ in den konzeptuellen Rahmen der Statistik und empirischen Sozialforschung. In Kapitel 4 werden statistische Kennzahlen des Verkehrsverhaltens, die aus Beobachtungen gewonnen werden können, systematisiert und zusammengestellt. Kapitel 5 beschäftigt sich mit für Verhaltensbeobachtungen adäquaten Stichprobendesigns, in Kapitel 6 sind die zugehörigen Formeln für die Hochrechnung und Genauigkeitsbeurteilung (Konfidenzintervalle) der Ergebnisse aufgeführt. Kapitel 7 enthält einige methodische Hinweise zu Möglichkeiten und Grenzen der Ziehung einer Zufallsstichprobe für Verhaltensbeobachtungen, in Kapitel 8 wird der Prozess einer Verhaltensbeobachtung unter erhebungspraktischen Gesichtspunkten – basierend auf dem ent-

wickelten Rahmenkonzept – beleuchtet. Vor der Zusammenfassung und den Empfehlungen (Kapitel 10) wird in Kapitel 9 noch ein Vergleich des hier entwickelten methodischen Rahmenkonzepts mit der Vorgehensweise bei den aktuellen Erhebungen der BASt zum Schutzverhalten angestellt.

In den vorliegenden Bericht sind auch die Ergebnisse eines Workshops eingeflossen, der im Rahmen dieses Projekts am 18.01.2010 in Bergisch Gladbach durchgeführt wurde.

## 2 Projektbeispiele zur Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr

### 2.1 Kontinuierliche Erhebungen der BASt zur Nutzung von Gurten und anderen Schutzsystemen

Die bereits seit den 1970er Jahren im Auftrag der BASt durchgeführten „Erhebungen zum Schutzverhalten von Verkehrsteilnehmern“ können als Prototyp einer Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr gelten.<sup>2</sup> Bei diesen jährlich durchgeführten Erhebungen werden Gurtanlegequoten in Pkw und Lkw, die Nutzung von Kinderrückhaltesystemen in Pkw sowie das Tragen von Helmen und Schutzkleidung bei Zweiradfahrern erfasst.

Die Beobachtungen finden in 6 ausgewählten Regionen, davon 2 in den östlichen Bundesländern, an festgelegten Standorten statt. Dabei werden 3 Gebiete im Juni und ebenfalls 3 im September eines jeden Jahres untersucht. Der Beobachtungszeitraum beträgt jeweils eine Kalenderwoche.

Zur Ermittlung der Gurtnutzungsquoten in Pkw werden insgesamt 18.600 Fahrzeuge beobachtet, wobei diese Stichprobe noch um Fahrzeuge mit Fondpassagieren bzw. (kindersitzpflichtigen) Kindern (Nutzung von Kinderrückhaltesystemen) ergänzt wird. Der entsprechende Stichprobenplan gibt konkrete Stichprobenumfänge in der Gliederung nach Wochentag (erhoben wird von Dienstag bis Sonntag), Tageszeitintervall und Straßenart vor.

<sup>2</sup> Eine ausführliche Beschreibung des Erhebungsverfahrens findet sich in dem vom Ingenieurbüro für Verkehrstechnik GmbH, Karlsruhe für die BASt erstellten Kompendium „Sicherheit durch Gurte, Helme und andere Schutzsysteme“.

Die Erhebungen finden auf Bundesautobahnen (Donnerstag und Sonntag), Landstraßen (Freitag und Samstag) und Innerortsstraßen (Dienstag und Mittwoch) statt, wobei innerorts nochmals nach Durchgangsverkehr, „Cityverkehr“ und Berufsverkehr differenziert wird. Außerorts werden die zu beobachtenden Fahrzeuge in bestimmten Zeitrhythmen ausgewählt, während im innerörtlichen Bereich die während der Stopp-Phase an Kreuzungen mit Lichtsignalanlage haltenden Pkw Gegenstand der Beobachtung sind.

Bei den Erhebungen zur Ermittlung der Gurnutzungsquoten im Güterkraftverkehr werden in jeder der 6 Regionen 750 Fahrzeuge beobachtet. Der Stichprobenplan gibt zu erfassende Fahrzeugmengen nach Wochentag (erhoben wird Montag und Dienstag), Tageszeitintervall und Straßenart vor. Die Erhebungen finden – anders als bei Pkw – nur auf Bundesautobahnen und Landstraßen statt. Auf Autobahnen wird montags zwischen 12 und 17 Uhr ( $n = 450$  pro Region) und auf Landstraßen dienstags zwischen 8 und 11 Uhr ( $n = 300$  pro Region) erhoben (weitere Details zur Beobachtung der Gurnutzung bei Pkw und Lkw finden sich in Kapitel 9).

Die Beobachtungen zum Tragen von Helmen und Schutzkleidung bei motorisierten Zweirad- und Fahrradfahrern finden ausschließlich im Innerortsbereich statt (von Sonntag bis Freitag), wobei hier keine Vorgaben bezüglich zu erreichender Stichprobenumfänge gemacht werden. Vielmehr werden alle an Kreuzungen mit Lichtsignalanlage haltenden Zweiradnutzer erfasst und zusätzlich befragt, wobei das Verhältnis zwischen beobachteten Radfahrern und Nutzern motorisierter Zweiräder bei etwa 3:1 liegen soll.

## 2.2 Kontinuierliche Erfassung der Lichteinschaltquoten am Tag von Kraftfahrzeugen

Ein weiteres typisches Beispiel für Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr ist die Ermittlung der Lichteinschaltquote am Tag („Tagesfahrlicht“). In Deutschland werden im Auftrag der BAST seit 2006 separate Erhebungen zur Lichteinschaltquote bei Pkw und Lkw durchgeführt (ohne Wohnmobile, Busse und landwirtschaftliche Fahrzeuge).

Die Beobachtungen finden in 6 ausgewählten Regionen, davon 2 in den östlichen Bundesländern,

an festgelegten Standorten in der Nähe von Wetterstationen statt (vgl. Ingenieurbüro Siegener – Verkehrstechnik, 2008, 2009). Dabei werden jeweils drei Erhebungszeiträume berücksichtigt: Winterzeit (November bis Februar), Sommerzeit (Mai bis August) und „Zwischenzeit“ (September, Oktober, März, April).

Wie bei den Erhebungen zum Schutzverhalten erfolgt eine Schichtung der Beobachtungsorte nach den drei Kategorien Bundesautobahnen (ohne ausländische Fahrzeuge), Landstraßen und Innerortsstraßen.

Pro Region, Jahreszeit und „Straßenklasse“ wird die Lichteinschaltquote an 6 Tagen (von Montag bis Samstag) beobachtet. Im Winter wird zwischen 10 und 15 Uhr, im Sommer von 8 bis 16 Uhr und in der „Zwischenzeit“ von 9 bis 17 Uhr erhoben. Auf Autobahnen mit zwei Fahrstreifen wird pro Stunde 40 Minuten lang beobachtet (jeder Fahrstreifen 10 Minuten im Wechsel), bei dreispurigen Autobahnen beträgt die Erhebungsdauer 45 Minuten (15 Minuten pro Fahrstreifen). Auch auf Land- und Innerortsstraßen untergliedert sich die Beobachtungsdauer pro Stunde in drei 15-minütige Intervalle.

Da die Lichteinschaltquote in hohem Maße von den Lichtverhältnissen und vom Wetter abhängt, wird pro Gebiet eine jahreszeitliche Wetterverteilung ermittelt (drei Witterungsklassen), nach der die Beobachtungsergebnisse gewichtet werden.

Die Hochrechnung der Quoten auf das Jahr erfolgt auf der Basis der Pkw- bzw. Lkw-Fahrleistungen.

## 2.3 Beobachtung der Einhaltung von Verkehrsvorschriften

Im Rahmen des BAST-Projektes „Kenntnis des Verkehrsteilnehmers über die StVO und sein Verkehrsverhalten“ (FE 82.0266/2004) wurde eine Befragung von Verkehrsteilnehmern zum Wissen über ausgewählte Verkehrsvorschriften und zu deren Befolgung ergänzt durch Verhaltensbeobachtungen im Straßenraum. Beobachtet wurde dabei das Verhalten von Fahrzeugführern an Engstellen („Reißverschlussverfahren“), an Ampeln mit Grünpfeil, an Kreisverkehrsplätzen sowie an gekennzeichneten Bushaltestellen (vgl. PFEIFFER und KOPPER-SCHLÄGER, 2006).

Dabei war angestrebt, das Verkehrsverhalten genau bei den Personen zu beobachten, die auch

befragt werden („Matched-pairs-Design“), sodass eine direkte Gegenüberstellung von selbst berichtetem und tatsächlichem Verhalten möglich war. Dabei wurde so vorgegangen, dass in einem ersten Schritt die Einhaltung der jeweils relevanten Vorschriften von Verkehrsteilnehmern im Straßenraum (an Kreisverkehrsplätzen, an Lichtsignalanlagen mit Grünpfeil, an Engstellen, an Bushaltestellen) beobachtet und zusammen mit weiteren Merkmalen wie geschätztes Alter und Geschlecht des Fahrers mittels Videoaufzeichnung protokolliert wurde.

Bei den dort untersuchten StVO-Regelungen handelt es sich allesamt um solche, die eine in räumlicher Hinsicht punktuelle Gültigkeit bzw. Wirkung haben. Zur Gewinnung der Beobachtungsstichprobe mussten daher zunächst entsprechende Orte, also z. B. Kreisverkehrsplätze und Lichtsignalanlagen mit Grünpfeil-Regelung, und entsprechende Zeiten (Tage, Tageszeitintervalle) ausgewählt werden. Bei der Auswahl der Tageszeiten war insbesondere die Berücksichtigung von Verkehrsspitzen und Zeiten mit mäßigem Verkehrsaufkommen wichtig, da sich die Struktur der Verkehrsteilnehmer in dieser Hinsicht unterscheidet, was sich durchaus auch auf das Ausmaß der Regelbefolgung auswirken kann. Andererseits sollten die Beobachtungen aus Vergleichbarkeitsgründen alle im selben Tageszeitintervall stattfinden. Insofern boten sich zwei- bis dreistündige Intervalle an, die sowohl Haupt- wie auch Nebenverkehrszeiten überdecken. Innerhalb dieser „Klumpen“ wurde dann – je nach zu beobachtendem Regelungskomplex – entweder das Verhalten bei allen passierenden Fahrzeugen beobachtet oder es wurde jedes x-te Fahrzeug in die Stichprobe aufgenommen (Prinzip einer systematischen Zufallsauswahl).

## 2.4 National Occupant Protection Use Survey (USA)

Ein wichtiges Beispiel für eine landesweite Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr mit einer mehrstufigen Zufallsauswahl der Erhebungsorte liefert der National Occupant Protection Use Survey (NOPUS) in den USA. Der Umfang dieser Erhebung ist beträchtlich. Für den Survey 2009 gelten z. B. folgende Fallzahlen (NHTSA 2009, S. 3):

- Beobachtungsorte 1.823,
- beobachtete Fahrzeuge 100.000,
- beobachtete Insassen 127.000.

Dabei wird das Gurttrageverhalten von Pkw-Fahrern und Beifahrern an zufällig ausgewählten Straßenabschnitten („randomly selected roadway sites“) beobachtet.<sup>3</sup> Neben der Beobachtung der Gurnutzung von festen Standpunkten aus wird – im Falle von „expressways“ – auch die Methode des Mitfahrens im Verkehr angewandt.

Die Erhebung 2009 fand vom 1. bis 20. Juni statt, beobachtet wurde in der Zeit zwischen 7 Uhr und 18 Uhr.

## 2.5 Surveys of Seat Belt Use 2004-2005 (Kanada)

Als weiteres Großprojekt im Bereich Verkehrsverhaltensbeobachtung sind die unter der Bezeichnung Transport Canada's Surveys of Seat Belt Use in Canada 2004-2005 durchgeführten Erhebungen zu nennen, die den ländlichen und städtischen Raum abdecken (Transport Canada, 2006).

Dabei wurde 2004 (ländlicher Raum) und 2005 (städtischer Raum) jeweils im September über eine Woche das Gurnutzungsverhalten von Pkw-Insassen beobachtet (von 6:30 Uhr bis 19:30 Uhr).

Insgesamt wurden bei diesen beiden Erhebungen knapp 124.000 Fahrzeuge mit rund 177.000 Insassen an 515 über ganz Kanada verteilten Orten beobachtet.

## 2.6 Das „Observational Seat Belt Survey Protocol“ (USA)

Für lokale und regional begrenzte Studien liegt ein im Dezember 2005 an der University of North Carolina (Injury Prevention Research Center) von einem Team von Statistikern und Epidemiologen ausgearbeitetes Observational Seat Belt Survey Protocol vor, das mit gewissen Modifikationen auf deutsche Verhältnisse übertragen werden könnte (vgl. CRUMP et al., 2005).

Die methodisch fundierte Verfahrensanleitung wendet sich an Praktiker und umfasst den gesamten

<sup>3</sup> Im Rahmen von NOPUS wird auch das Sicherungsverhalten von Fondinsassen und Kindern untersucht (siehe <http://www.nrd.nhtsa.dot.gov/Cats/listpublications.aspx?Id=B&ShowBy=DocType>).

durchschnittliche Anzahl Fahrzeuge pro Stunde	Anzahl benötigter Erhebungsort/-zeit-Kombinationen
20-29	41
30-39	35
40-49	32
50-59	30
60-79	28
80-99	27
100-129	26
130-199	25
200 und mehr	24
Quelle: CRUMP et al., 2005	

**Tab. 1:** Anzahl benötigter Erhebungsort/-zeit-Kombinationen nach durchschnittlicher Anzahl Fahrzeuge pro Stunde

Erhebungs- und Auswertungsprozess einer Verkehrsverhaltensbeobachtung:

- observation location identification and traffic volume assessment,
- selecting observation locations to survey,
- conducting observational seat belt surveys,
- summarize annual seat belt use data.

Es wird detailliert beschrieben, wie man eine Liste aller möglichen Beobachtungsorte (Auswahlgrundlage) erstellt (in diesem Fall Kreuzungen), wie das Verkehrsaufkommen an diesen Kreuzungen bestimmt wird und wie – nach einer entsprechenden Bereinigung – aus den verbleibenden Beobachtungsorten und -zeiten eine Zufallsstichprobe mit Hilfe von Excel gezogen werden kann.

Die Anleitung enthält auch Hinweise zur Anzahl benötigter Erhebungsort/-zeit-Kombinationen in Abhängigkeit von der durchschnittlichen Anzahl an Fahrzeugen pro Stunde (gemittelt über alle Erhebungsort/-zeit-Kombinationen):

Schließlich werden noch Hinweise zur Durchführung der Beobachtung und zur Berechnung der Ergebnisse (Gurtnutzungsquoten) gegeben.

## 2.7 Andere Beispiele

Weitere Beispiele für Beobachtungsstudien zu Kinderrückhaltesystemen und zur Gurtnutzung (auch bei Nacht) finden sich in der Zusammenfassung einer Konferenz über „Injury and Violence in

America“, die im Mai 2005 in Denver, Colorado, stattfand (Department of health and human services USA et al., 2005).

Als Beispiel für eine Beobachtungsstudie, in der die Beobachtungsorte (hier: Kreuzungen) über eine Art Flächenstichprobe zufällig ausgewählt wurden, kann eine 2008 in Ohio durchgeführte Studie zum Thema Gurtnutzung dienen (SEUFERT, KUBILIUS, WALTON und NEWTON, 2008). Dabei wurden die zu beobachtenden Kreuzungen über zufällig gezogene Koordinaten aus einem über das Erhebungsgebiet gelegten Gitternetz bestimmt.

Beispiele für andere Beobachtungsgegenstände finden sich in einer Studie des GDV (2008) zur „Verbesserung der Verkehrssicherheit in Münster“. Dort wurden Radfahrer hinsichtlich der Benutzung der falschen Fahrbahnseite und Rotlichtverstößen (Letzteres auch bei Fußgängern) beobachtet. Darüber hinaus wurde das Abbiegeverhalten von Kraftfahrern in Zusammenhang mit querenden Radfahrern mittels Verkehrsbeobachtung untersucht.

Schließlich sei darauf hingewiesen, dass es sich auch bei allen Arten von verkehrstechnischen Erhebungen wie z. B. Geschwindigkeitsmessungen, Zeitlückenmessungen oder Verkehrsstärkezahlungen in Grundsatz um Beobachtungsstudien handelt (vgl. hierzu z. B. TAYLOR, YOUNG und BONSALL, 1996 oder STEIERWALD, KÜNNE und VOGT, 2005).

## 3 Verhaltensbeobachtung als Methode der empirischen Verkehrsforschung

Das zu entwickelnde Rahmenkonzept für Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr (kurz Verkehrsverhaltensbeobachtung) muss den allgemeinen methodischen Standards der empirischen Forschung genügen. Dazu sind die betreffenden Standards auf die Verkehrsverhaltensbeobachtung zu übertragen und adäquat zu spezifizieren. Als Voraussetzung hierfür wird im vorliegenden Kapitel die Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr in den konzeptuellen Rahmen der empirischen Sozialforschung und der Statistik eingeordnet.

### 3.1 Verkehrsverhaltensbeobachtung als Erhebungsform

#### 3.1.1 Verkehrsverhaltensbeobachtung als spezielle Form der wissenschaftlichen Beobachtung

Unter (wissenschaftlicher) Beobachtung versteht man in der empirischen Sozialforschung eine Erhebungsform, die durch das systematische Erfassen, Festhalten und Deuten sinnlich wahrnehmbaren Verhaltens zum Zeitpunkt seines Geschehens gekennzeichnet ist (ATTESLANDER, 2003, S. 79). Auf die Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr trifft diese Charakterisierung zu: Unter „Verhalten“ sind dabei sichtbare Phänomene wie Gurttragen, Nutzung des Tagesfahrlichts sowie Blinken bei der Ausfahrt aus einem Kreisverkehrsplatz zu verstehen und die systematische Erfassung des Verhaltens „zum Zeitpunkt seines Geschehens“ ist dadurch gegeben, dass die Beobachtung im Verkehrsnetz selbst, d. h. im fließenden Verkehr, erfolgt.

Ganz allgemein richtet sich das Verfahren der Beobachtung auf soziale Prozesse und Verhaltensabläufe, auf Gegebenheiten also, die sich während des Beobachtens, des „Identifizierens der Elemente der Beobachtungssituation“, ständig verändern<sup>4</sup> (KROMREY, 1994, S. 255 ff.). Im Fall der Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr ist der Beobachtungsgegenstand der Fahrzeugfluss an einem Straßenquerschnitt; als zu identifizierende Beobachtungselemente kommen das Gurttragen der Fahrzeuginsassen, das Fahren mit Tagesfahrlicht und ähnliche Verhaltensformen in Betracht.

#### 3.1.2 Einordnung in das Methodenspektrum der empirischen Sozialforschung

In der empirischen Sozialforschung werden Beobachtungsverfahren üblicherweise nach den folgenden Kategorien klassifiziert (vgl. z. B. BORTZ und DÖRING, 1995):

- offene vs. verdeckte Beobachtung,
- teilnehmende vs. nicht-teilnehmende Beobachtung,
- Feld- vs. Laboratoriumsbeobachtung,
- strukturierte (quantitativ mittels Kategorienschemas) vs. unstrukturierte (qualitative) Beobachtung,

- apparative (i. d. R. Videoaufzeichnung) vs. nicht-apparative Beobachtung.

Die Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr, etwa zur Ermittlung der Gurnutzungsquote, lässt sich vor diesem Hintergrund als (mehr oder weniger) verdeckte, nicht-teilnehmende Feldbeobachtung beschreiben, die stark strukturiert ist und sowohl apparativ als auch nicht-apparativ durchgeführt werden kann.

### 3.2 Bestandteile einer Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr

Untersuchungssituationen, in denen mit der Methode der Beobachtung gearbeitet wird, werden durch die vier Elemente Beobachtungsfeld, Untersuchungseinheiten, Beobachter und Beobachtete geprägt (ATTESLANDER, 2003, S. 87 ff.).

#### 3.2.1 Beobachtungsfeld

Das Beobachtungsfeld, d. h. der räumliche und/oder soziale Bereich, in dem die Beobachtung stattfinden soll, ist im vorliegenden Kontext natürlich das Straßennetz. Neben dieser räumlichen Charakterisierung muss eine Beschreibung des Beobachtungsfelds aber auch die Frage beantworten, wann und unter welchen Rahmenbedingungen beobachtet wird. So ist das Beobachtungsfeld im Fall der Ermittlung von Lichteinschaltquoten auf solche Zeitbereiche und Sichtverhältnisse beschränkt, in denen das Einschalten des Fahrlichts nicht bereits durch die Straßenverkehrsordnung verbindlich vorgeschrieben ist.<sup>5</sup>

#### 3.2.2 Untersuchungseinheiten

Die Untersuchungseinheiten geben Antwort auf die Frage, wer und was beobachtet wird.<sup>6</sup> Bei der Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr ist die

<sup>4</sup> KROMREY (1994) nennt hier u. a. folgendes Beispiel: Beobachtungsgegenstand (Situation) kann etwa sein der Verkehrsfluss in der City zur Zeit der rush hour mit allen dabei vorkommenden Zwischenfällen als zu identifizierende Beobachtungselemente wie Verkehrsunfälle, Stauungen, Nichtbeachten der Vorfahrt, Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, auf die Kreuzung fahren bei „Spätgelb“.

<sup>5</sup> Das Fahren mit Tagesfahrlicht wird lediglich empfohlen. Durch Beobachtung soll festgestellt werden, in welchem Maße dieser Empfehlung gefolgt wird.

beobachtende Tätigkeit auf die sich fortbewegenden Fahrzeuge und deren Insassen gerichtet. Beobachtet werden also Vorgänge im Straßenverkehr. Da die Beobachtung von einem festen Standort aus erfolgt, sind letztlich Vorbeifahrten von Fahrzeugen – und damit auch Vorbeifahrten von Fahrzeuginsassen – die Untersuchungseinheiten. Durch Beobachtung werden Merkmale der vorbeifahrenden Fahrzeuge und ihrer Insassen erfasst; die festgestellten Merkmalsausprägungen beziehen sich also stets auf den betreffenden Zeitpunkt und Ort der Beobachtung.

Da nie alles beobachtet werden kann, muss eine am Untersuchungsgegenstand und -ziel ausgerichtete Auswahl der Untersuchungseinheiten vorgenommen werden, die dem Anspruch der Untersuchung (z. B. Repräsentativität) gerecht wird. Eine einfache Zufallsauswahl aus der Gesamtheit aller Vorbeifahrten kommt in Ermangelung eines Verzeichnisses dieser Einheiten nicht in Betracht. Zur Erfassung von Vorbeifahrten als Untersuchungseinheiten müssen vielmehr Beobachtungsorte und -zeiträume ausgewählt werden, was einer Klumpenstichprobe entspricht. Die damit zusammenhängenden Fragen werden in Kapitel 4 behandelt.

### 3.2.3 Beobachter und Beobachtete

Als Beobachter treten bei der Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr in erster Linie Erhebungsteams in Erscheinung, die aus mehreren Personen bestehen. Dem Erhebungsteam kommt dabei die Rolle des forschenden (nicht des teilnehmenden) Beobachters zu. Idealerweise sollte die Verhaltensbeobachtung parallel von verschiedenen Beobachtern durchgeführt werden, die unabhängig voneinander denselben Sachverhalt erfassen; die Beobachtung wird dadurch objektiviert, d. h. intersubjektiv nachprüfbar.

Der Kreis der Beobachteten, d. h. derjenigen Personen oder Einheiten, die beobachtet werden, wird durch die Festlegung des Beobachtungsfeldes bzw. der Untersuchungseinheiten bereits weitgehend abgegrenzt. An dieser Stelle geht es im Wesentlichen deshalb um die Frage, inwieweit die Be-

obachtung für die Beobachteten transparent ist. Da die Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr in der Regel verdeckt stattfinden soll, muss eine Tarnung im Rahmen der Feldbedingungen gesucht werden. Damit zusammenhängende Themen sind Gegenstand von Kapitel 8.

## 3.3 Formen der Verkehrsverhaltensbeobachtung

### 3.3.1 Kriterien zur Klassifizierung von Verkehrsverhaltensbeobachtung

Das zu entwickelnde methodische Rahmenkonzept muss auf unterschiedliche Fragestellungen anwendbar sein. Die Herausarbeitung der wichtigsten Typen der Verkehrsverhaltensbeobachtung ist in diesem Zusammenhang von großer Bedeutung.

Außer nach der Art des zu beobachtenden Verhaltensmerkmals können sich Verkehrsverhaltensbeobachtungen unter anderem hinsichtlich der Größe und Art des Beobachtungsfeldes (Untersuchungsgebiet), der Länge des Untersuchungszeitraums, der Periodizität der Erhebung sowie des Technikeinsatzes bei der Erfassung der Verhaltensmerkmale unterscheiden.

Es versteht sich, dass das allgemeine methodische Rahmenkonzept je nach Typ der Verkehrsverhaltensbeobachtung anzupassen ist. Dies betrifft das Auswahl- und Hochrechnungsverfahren ebenso wie das Messverfahren, d. h. die Technik der Erfassung der Verhaltensmerkmale vor Ort.

### 3.3.2 Nominale, ordinale und metrische Verhaltensmerkmale

Die Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr liefert stets eine Momentaufnahme der Verhaltensmerkmale. Der Umstand, dass für die Erfassung der Merkmalsausprägung durch den Beobachter jeweils nur eine sehr kurze Zeitspanne zur Verfügung steht, muss bei der Definition und Skalierung der Merkmale berücksichtigt werden. Es versteht sich, dass das Skalenniveau des Verhaltensmerkmals unter anderem auch Einfluss auf die anzuwendende Beobachtungstechnik hat.

Ganz überwiegend werden nominal skalierte Verhaltensmerkmale erfasst, wobei es sich vielfach um dichotome (binäre) Merkmale wie z. B. „Gurttragen (ja/nein)“ handelt. Denkbar sind aber auch ordinale Merkmale wie etwa „Grad der Einhaltung des Si-

<sup>6</sup> In der empirischen Sozialforschung wird hier meist von Beobachtungseinheiten gesprochen. Im vorliegenden Zusammenhang ist der Begriff Beobachtungseinheit aber für Kombinationen von Beobachtungsorten und -zeiten reserviert (vgl. Kapitel 5).



cherheitsabstands zum vorausfahrenden Fahrzeug (unzureichend, noch tolerierbar und ausreichend)“.

Grundsätzlich könnte man natürlich auch die Erhebung metrisch skaliert Merkmale wie z. B. „Fahrgeschwindigkeit bei der Vorbeifahrt am Beobachtungsort in km/h“ oder „Zeitlücke in Sek.“ als spezielle Form der (apparativen) Beobachtung im fließenden Verkehr auffassen. Die Erfassung metrischer Merkmale gehört nicht zum Kernbereich des hier erarbeiteten methodischen Rahmenkonzepts, nichtsdestotrotz können aber insbesondere die Ausführungen zum Stichproben- und Hochrechnungsverfahren auch auf solche Merkmale übertragen werden.

### 3.3.3 Ortsbezogene versus ortsunabhängige Verhaltensmerkmale

Die Untersuchungsmerkmale einer Verkehrsverhaltensbeobachtung kann man danach klassifizieren,

- ob das betreffende Verhalten überhaupt nur an ganz bestimmten Punkten im Straßennetz gezeigt werden kann oder nur dort von Interesse ist (z. B. Blinken beim Verlassen eines Kreisverkehrsplatzes oder Befolgung der Rechts-vor-links-Regel an Kreuzungen ohne Vorfahrtregelung) oder
- ob es sich um eine Verhaltensweise handelt, die grundsätzlich überall während der gesamten Fahrt gezeigt werden kann und die auch unabhängig vom Ort ihres Auftretens interessiert (z. B. Einhalten des Sicherheitsabstands zum vorausfahrenden Fahrzeug oder Gurtragen während der Fahrt).

Zur Unterscheidung wird hier im Folgenden von ortsbezogenen bzw. ortsunabhängigen Verhaltensmerkmalen gesprochen.

Der erstgenannte Fall, der häufig bei Untersuchungen zur Befolgung bestimmter Verkehrsregeln vorliegt, setzt eine (zufällige oder bewusste) Auswahl von Beobachtungsorten des jeweiligen Typs voraus, da eben nur dort die Beobachtung des interessierenden Verhaltensmerkmals möglich bzw. sinnvoll ist. In aller Regel ist hier die Gesamtheit der möglichen Beobachtungsorte endlich.

Der zweite Fall, d. h. die Ortsunabhängigkeit des Verhaltensmerkmals, ist für Erhebungen zur Gurtnutzung oder zur Nutzung des Tagesfahrlichts typisch. Aber auch Verhaltensmerkmale wie „Blinken

vor einem Spurwechsel“ und „Einhaltung eines Mindestabstands zum vorausfahrenden Fahrzeug“ sind dieser Merkmalskategorie zuzuordnen. Da das interessierende Verhalten überall und zu jeder Zeit gezeigt werden kann, umfasst die Gesamtheit der möglichen Beobachtungsorte theoretisch unendlich viele Straßenquerschnitte; bei der Stichprobenauswahl kann dem durch eine Zerlegung des Straßennetzes in einzelne kleine Abschnitte Rechnung getragen werden.

### 3.3.4 Ereignis- versus zustandsbezogene Verhaltensmerkmale

Gegenstand der Beobachtung im fließenden Verkehr können sowohl Ereignisse als auch Zustände sein. Eine weitere Klassifikation der Untersuchungsmerkmale kann deshalb danach erfolgen,

- ob das beobachtete Verhaltensmerkmal ein Attribut eines Ereignisses oder eines Manövers ist, das im Verlauf einer Fahrzeugfahrt eintritt bzw. durchgeführt wird, oder
- ob das beobachtete Merkmal einen Zustand beschreibt, in welchem sich das Fahrzeug bzw. seine Insassen im Moment der Vorbeifahrt befinden.

Zu den ereignisbezogenen Merkmalen gehören z. B. das Blinken beim Verlassen eines Kreisverkehrs und das Blinken vor einem Spurwechsel auf einer mehrstreifigen Straße. Die Beobachtungselemente haben hier zeitlich punktuellen Charakter bzw. sind Vorgänge von (sehr) kurzer Dauer. Das beobachtete Phänomen kann somit auch als in raum-zeitlicher Hinsicht „situativ“ bezeichnet werden.

Als zustandsbezogene bzw. zustandsbeschreibende Merkmale sind demgegenüber solche Attribute des Fahrzeugs oder der Fahrzeuginsassen anzusehen, die sich auf eine Verhaltensweise beziehen, welche während einer Fahrt nicht nur kurzzeitig und situativ, sondern über eine gewisse Zeitspanne hinweg gezeigt wird. Beispiele sind Tragen des Sicherheitsgurtes oder Rauchen während der Fahrt. Ein zustandsbezogenes Verhaltensmerkmal kann als Folge von Verhaltensänderungen im Verlauf der Fahrt verschiedene Ausprägungen annehmen. So kann im Hinblick auf das Merkmal „Rauchen während der Fahrt“ je nach Zeitpunkt und Ort der Beobachtung sich der Fahrer im Zustand „ja“ oder „nein“ befinden.

Ob ein Verhaltensmerkmal ereignisbezogen oder zustandsbezogen ist, hat entscheidende Konsequenzen für die aus einer Verhaltensbeobachtung hochzurechnenden Kennzahlen. Zwar wird durch die Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr stets der Anteil der Vorbeifahrten ermittelt, bei denen eine bestimmte Merkmalsausprägung vorliegt (z. B. Fahrer hat den Gurt angelegt bzw. blinkt vor dem Spurwechsel), doch werden je nach Art des Merkmals aus den empirischen Anteilswerten ganz unterschiedliche Kennzahlen geschätzt:

- Bei ereignisbezogenen Merkmalen wird mittels der stichprobenartigen Beobachtungsdaten der Anteil der Ereignisse, welche die interessierende Eigenschaft besitzen, an der Gesamtzahl aller Ereignisse des betreffenden Typs geschätzt. Beispiel: Im Untersuchungsgebiet wurde während des Untersuchungszeitraums bei  $q$  Prozent aller Ausfahrten von Kfz aus Kreisverkehrsplätzen (analog: aller Spurwechsel) fälschlicherweise der Blinker nicht betätigt.
- Bei zustandsbezogenen Merkmalen schätzt man demgegenüber auf derselben empirischen Basis den Anteil der im jeweiligen Zustand zurückgelegten Fahrzeugkilometer. Beispiel: Im Untersuchungsgebiet wurden während des Untersuchungszeitraums  $q$  Prozent aller Fahrzeugkilometer mit Tagesfahrlicht zurückgelegt.<sup>7</sup>

Die damit zusammenhängenden Probleme der Hochrechnung und Genauigkeitsbeurteilung werden in Kapitel 6 eingehend behandelt.

### 3.3.5 Großräumige versus kleinräumige Studien

Die geografische Größe des Untersuchungsgebiets einer Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr hat eine Reihe von methodischen Konsequenzen. Diese betreffen vor allem das anzuwendende Stichprobenverfahren.

Je kleiner das Untersuchungsgebiet ist, desto einfacher erscheint es, vor Durchführung der Erhe-

bung ein vollständiges Verzeichnis der infrage kommenden Beobachtungsorte zu erstellen, aus welchem dann im Sinne einer einstufigen Klumpenstichprobe eine Zufallsauswahl von Erhebungseinheiten (Kombinationen von Beobachtungsstandorten und Beobachtungszeiten) für die Verhaltensbeobachtung vorgenommen werden kann. Dies gilt speziell für Erhebungen, bei denen ortsbezogene Verhaltensmerkmale beobachtet werden; so dürfte es z. B. weitgehend unproblematisch sein, eine Liste aller Kreisverkehrsplätze einer Stadt oder eines Landkreises zu erstellen (siehe hierzu auch Kapitel 7.1.1).

Dagegen kann es bei großräumigen, speziell bundesweiten Untersuchungen aufgrund gegebener Rahmenbedingungen vergleichsweise aufwändig sein, eine geeignete Auswahlgrundlage für die Ziehung einer Zufallsstichprobe von Beobachtungsorten und -zeiten zu schaffen. Dies könnte z. B. mit ein Grund dafür sein, dass bundesweite Untersuchungen wie die „Kontinuierlichen Erhebungen zum Schutzverhalten“ gegenwärtig auf einer bewussten Auswahl von „prototypischen“ regionalen Einheiten beruhen.

Bei großräumigen Studien ist zunächst an eine mehrstufige Auswahl zu denken. Dabei könnte man in Stufe 1 eine Zufallsauswahl von Kreisen oder anderen Gebietseinheiten (z. B. geschichtet nach siedlungs- oder verkehrsstrukturellem Typ) vornehmen und in Stufe 2 eine Auswahl von Beobachtungsorten innerhalb der ausgewählten Kreise durchführen<sup>8</sup> (siehe hierzu auch Kapitel 7.1.2).

Zur Umgehung der Mehrstufigkeit der Auswahl wurde in der vorliegenden Arbeit als Teil des methodischen Rahmenkonzepts ein neuartiger Ansatz entwickelt, der auf der Nutzung von Kartografie-Programmen mit hinterlegten Straßennetzmodellen bei der Zufallsauswahl von Straßenquerschnitten als Beobachtungsorten beruht. Näheres hierzu findet sich in Kapitel 7.1.2 dieses Forschungsberichts.

### 3.3.6 Einzelstudie versus kontinuierliche Erhebung

Bei der Entwicklung eines methodischen Rahmenkonzepts ist ferner zwischen Einzeluntersuchungen („Ad-hoc-Studien“) etwa im Zusammenhang mit bestimmten Forschungsprojekten und laufenden oder periodisch wiederkehrenden („kontinuierlichen“) Erhebungen des Verhaltens im fließenden Verkehr zu

<sup>7</sup> Voraussetzung hierfür ist die Ziehung einer Zufallsstichprobe von Streckenabschnitten (jeweils der Länge  $m$ ) und Beobachtungsperioden (vgl. Kapitel 4.3).

<sup>8</sup> Ein gutes Beispiel für eine auf Zufallsauswahlverfahren basierende nationale Gurnutzungserhebung ist der in USA jährlich durchgeführte National Occupant Protection Use Survey (NOPUS) des NHTSA.

unterscheiden. Je nach Studientyp erweisen sich unterschiedliche Erhebungsdesigns als geeignet.

Bei kontinuierlichen Erhebungen wie den Erhebungen der BAST zum Sicherungsverhalten geht es außer um eine möglichst genaue Beschreibung des aktuellen Zustands auch um das Aufzeigen von Veränderungen des Verkehrsverhaltens im Zeitverlauf. Für solche kontinuierlichen Erhebungen bietet sich als Erhebungsdesign insbesondere die so genannte Rotationsstichprobe<sup>9</sup> an, bei welcher zum Beispiel jeder Beobachtungsort über 3 aufeinander folgende Jahre hinweg in der Stichprobe verbleibt. In jedem Jahr scheidet dann ein Drittel der Orte aus der Stichprobe aus und wird durch neue (zufällig ausgewählte) Orte ersetzt (siehe hierzu auch Kapitel 7.2).

### 3.3.7 Apparative versus nicht-apparative Verhaltensbeobachtung

Verhaltensbeobachtungen reichen von völlig freiem Beobachten mit detaillierter Protokollierung des Geschehens bis zu einer voll standardisierten Vorgehensweise, bei der genau vorgeschrieben wird, was zu beobachten und wie das Beobachtete zu protokollieren ist. Je nach Verhaltensmerkmal kann dabei die Qualität der Beobachtungsdaten durch Einsatz technischer Hilfsmittel im Erhebungsprozess verbessert werden.

Videoaufzeichnungen bieten sich vor allem bei freier Beobachtung an, sind aber auch bei der standardisierten Variante – die bei Verhaltensbeobachtungen im fließenden Verkehr die Regel ist – sinnvoll. So kann z. B. mittels Videoaufzeichnung im ausgewählten Zeitintervall eine Vollerhebung in Bezug auf die Nutzung von Tagesfahrlicht oder das Tragen von Helmen bei (motorisierten) Zweiradfahrern vorgenommen werden. Auch bei der Erfassung der Nutzung von Gurten ist eine solche apparative Beobachtung hilfreich zur Protokollierung und nachträglichen Auswertung bzw. Datenbereinigung. Allerdings lassen in manchen Fällen die örtlichen Gegebenheiten das Aufstellen einer Kamera nicht zu, darüber hinaus müssen hier auch datenschutzrechtliche und Verkehrssicher-

heitsaspekte (mögliche Fehlreaktionen der Verkehrsteilnehmer beim Entdecken der Kamera) berücksichtigt werden.

Zur Unterstützung der Erhebungstätigkeit der Beobachter vor Ort können zusätzlich Datenerfassungsgeräte zum Einsatz kommen, mit denen nicht die beobachteten Verhaltensmerkmale selbst, sondern vielmehr die äußeren Begleitumstände der Beobachtung wie Straßenzustand, Temperatur oder Beleuchtungsstärke an Ort und Stelle erfasst werden. Zur Erhebung solcher Begleitmerkmale sind im Allgemeinen spezielle Messgeräte notwendig. In Kapitel 8 wird diese Thematik aufgegriffen.

### 3.3.8 Kombination von Beobachtung und Befragung

Die interessierenden Verhaltensmerkmale sind von den Beobachtern nicht alle gleichermaßen gut visuell wahrnehmbar. Beispielsweise ist es mit wachsender Verbreitung von verdunkelten oder getönten Scheiben zunehmend weniger möglich, die Gurtnutzung bei Fondpassagieren oder die Sicherung mitfahrender Kinder durch bloße Beobachtung valide zu erheben.

In solchen Situationen können Beobachtungs- und Befragungsmethoden kombiniert angewandt werden. So unterscheidet z. B. auch das Kompendium zur Erhebung der Gurtnutzung zwischen zu beobachtenden und zu erfragenden Merkmalen (Ingenieurbüro für Verkehrstechnik, 2000, S. 18 f.).

In Situationen, wo die Sichtbarkeit des Beobachtungsgegenstands eingeschränkt ist (z. B. Gurtnutzung bei verdunkelten Scheiben), oder wenn zusätzlich zu den visuell wahrnehmbaren Merkmalen auch soziodemografische Merkmale der Fahrzeugbenutzer (z. B. Alter) erfasst werden sollen, muss die Beobachtung im fließenden Verkehr mit einer Befragung verbunden werden, was das Anhalten des Fahrzeugs voraussetzt. Hier bestehen enge Verknüpfungen zu den Kordonbefragungen im Straßennetz, da es sich hier um sog. „Intercept Surveys“ handelt,<sup>10</sup> d. h. um eine Form der Befragung, bei welcher man die zu befragende Person bei einer gerade ausgeübten Tätigkeit unterbrechen muss, um mit ihr ein Interview führen zu können.

<sup>9</sup> Dieses Design hat sich z. B. auch bei dem seit Mitte der 1990er Jahre im Auftrag des BMVBS durchgeführten Deutschen Mobilitätspanels nachhaltig bewährt.

<sup>10</sup> Vgl. RICHARDSON, AMPT und MEYBURG (1995), S. 54 ff.

## 4 Kennzahlen des Verkehrsverhaltens aus Beobachtungen im fließenden Verkehr

### 4.1 Untersuchungseinheiten und Grundgesamtheit

#### 4.1.1 Vorbeifahrten von Fahrzeugen als Untersuchungseinheiten

Bei der Verkehrsverhaltensbeobachtung sind wie bei den meisten Arten von Verkehrserhebungen die im betreffenden Untersuchungsgebiet und Untersuchungszeitraum stattfindenden Ortsveränderungen von Fahrzeugen und deren Insassen Gegenstand des Interesses.<sup>11</sup> Ähnlich wie bei Verkehrsbefragungen werden auch bei der Verhaltensbeobachtung fahrtbezogene Merkmale von Fahrzeugen und Fahrern sowie – soweit vorhanden – Merkmale der übrigen Fahrzeugnutzer erhoben.<sup>12</sup> Insofern könnte man annehmen, dass auch bei der Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr Ortsveränderungen (Fahrten) von Fahrzeugen bzw. Personen als Merkmalsträger bzw. Untersuchungseinheiten anzusehen sind.

Fahrten eignen sich jedoch aus mehreren Gründen nicht als Untersuchungseinheiten einer Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr:

- Da Fahrten im Straßennetz in der Regel über mehrere mögliche Beobachtungsorte führen, wäre die Zuordnung von Untersuchungseinheiten (Fahrten) zu Auswahleinheiten (Beobachtungsorte und -zeiten) nicht eindeutig. Das statistische Modell der Klumpenstichprobe ist mit Fahrten als Untersuchungseinheiten nicht anwendbar.
- Fahrten über große Distanzen – und damit über viele mögliche Beobachtungsorte – haben bei der Verkehrsverhaltensbeobachtung eine überdurchschnittlich hohe Chance, in die Stichprobe zu gelangen, d. h. an einem ausgewählten Be-

obachtungsort erfasst zu werden. Variierende Auswahlchancen der Untersuchungseinheiten müssen bei der Schätzung von Kennzahlen durch entsprechende Gewichtung (hier also mit dem Kehrwert der Fahrlänge) ausgeglichen werden. Dies ist im vorliegenden Fall aber nicht möglich, da die Länge einer Fahrt durch bloße Beobachtung des Fahrzeugs von einem festen Standort aus nicht ermittelt werden kann.

- Weiter ist im Kontext der Verhaltensbeobachtung die Einheit „Fahrt“ ungeeignet, da sich ein zu untersuchendes Verhalten meist jederzeit im Laufe einer Fahrt ändern kann. Wäre die Fahrt eine Untersuchungseinheit, so hätte man es ganz überwiegend mit Merkmalen zu tun, bei denen „Mehrfachnennungen“ möglich sind; erfasst würde aber immer nur die momentane bzw. lokale Ausprägung des Merkmals. Einfachstes Beispiel hierfür ist die Handy-Nutzung (ohne Freisprechanlage) im fließenden Verkehr: Nur weil ein Fahrer in einem bestimmten Augenblick während der Fahrt telefoniert (nämlich im Moment der Vorbeifahrt am Beobachtungsort), wird man nicht davon ausgehen, dass er über die Gesamtdauer der Fahrt telefoniert. Selbst bei der Gurnutzung kann kein konstantes Verhalten über die gesamte Fahrlänge unterstellt werden.

Um dem Charakter der Verhaltensbeobachtung als einer lokalen Messung gerecht zu werden, wird – wie in Kapitel 3.3.2 bereits angesprochen – im Folgenden der Begriff der Vorbeifahrt bzw. Fahrzeug-Vorbeifahrt verwendet (Vorbeifahren an einem Straßenquerschnitt), wenn der Merkmalsträger bzw. die atomare Untersuchungseinheit einer Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr gemeint ist.

In manchen Fällen – z. B. bei Untersuchungen zum Gurttragen – sind gegebenenfalls auch Insassen-Vorbeifahrten als Untersuchungseinheiten zu betrachten. Man hat es dann mit so genannten Multi-level-Daten zu tun: Jeder Fahrzeug-Vorbeifahrt (Ebene 1) sind eine oder mehrere Insassen-Vorbeifahrten (Ebene 2) zugeordnet.

#### 4.1.2 Abgrenzung der Grundgesamtheit von Vorbeifahrten

Vorbeifahrten sind Ereignisse bzw. Vorgänge, die an Straßenquerschnitten zu beobachten sind. Für die Abgrenzung der interessierenden Grundge-

<sup>11</sup> Ortsveränderungen – auch Wege bzw. Fahrten genannt – sind Vorgänge der Fortbewegung im Raum. Nach dem sich fortbewegenden Objekt unterscheidet man zwischen Fahrzeug- und Personenfahrten. Bei den Fahrzeugen kann es sich um motorisierte und nicht motorisierte Fahrzeuge handeln.

<sup>12</sup> Natürlich können auch Ortsveränderungen von Fußgängern Untersuchungseinheiten einer Verkehrsbeobachtung sein, doch wird dies im Folgenden nicht näher betrachtet.

samtheit von Vorbeifahrten ist es bei einer Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr deshalb notwendig, zunächst die Gesamtheit der möglichen Beobachtungsorte zu definieren. Hier muss zwischen ortsbezogenen und ortsunabhängigen Verhaltensmerkmalen unterschieden werden.

### **Beobachtung ortsbezogener Verhaltensmerkmale**

Bei einer Untersuchung von ortsbezogenen Verhaltensmerkmalen sind als mögliche Beobachtungsorte nur die für das betreffende Verhalten relevanten Straßenquerschnitte anzusehen. Diese können je nach Verhaltensmerkmal im Bereich von

- Fußgängerüberwegen,
- Bushaltestellen,
- Einfahrten in bzw. Ausfahrten aus Kreisverkehrsplätzen,
- Einmündungen/Kreuzungen usw.

liegen.

Als Grundgesamtheit der Verhaltensbeobachtung ist dann die Gesamtheit aller Vorbeifahrten an den Fußgängerüberwegen, Bushaltestellen usw. eines Untersuchungsgebiets während des Untersuchungszeitraums zu betrachten. Die Grundgesamtheit ist also eine endliche Ereignisgesamtheit; dies gilt für ereignis- und zustandsbezogene Merkmale gleichermaßen.

### **Beobachtung ortsunabhängiger Merkmale**

Bei ortsunabhängigen Verhaltensmerkmalen, also Merkmalen, die prinzipiell an jedem Punkt im Straßennetz beobachtet werden können, ist zunächst jeder beliebige Straßenquerschnitt als möglicher Beobachtungsort anzusehen. Geht man von dieser Vorstellung aus, so sind die Gesamtheit der möglichen Beobachtungsorte und damit die Grundgesamtheit der Vorbeifahrten nicht endlich, sondern enthalten vielmehr unendlich viele Elemente.

Um die Datenerhebung und -auswertung im Rahmen der klassischen Stichprobentheorie behandeln zu können,<sup>13</sup> bietet es sich an, vom Konzept der Zerlegung des gesamten Straßennetzes in viele einzelne kleine Streckenabschnitte gleicher Länge auszugehen (vgl. Kapitel 5.1.2). Jeder dieser  $N$  Streckenabschnitte der Länge  $m$  ist dann ein

möglicher Beobachtungsort. Als Grundgesamtheit der Vorbeifahrten ist hier die Gesamtheit aller Vorbeifahrten von Fahrzeugen an den  $N$  Streckenabschnitten des Netzes im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums anzusehen. Auch hier ist die Grundgesamtheit der Untersuchungseinheiten also eine Ereignisgesamtheit.

Wenn die Fahrt eines einzelnen Fahrzeugs über  $k$  Streckenabschnitte im Netz führt, so heißt dies, dass die betreffende Fahrzeugfahrt insgesamt  $k$  Fahrzeug-Vorbeifahrten „generiert“ hat. Da in einem Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums sehr viele Fahrzeugfahrten stattfinden können und jede einzelne dieser Fahrzeugfahrten zu einer Vielzahl von Fahrzeug-Vorbeifahrten führt, umfasst bei ortsunabhängigen Verhaltensmerkmalen die Grundgesamtheit der Vorbeifahrten typischerweise sehr viele Elemente.

#### **4.1.3 Statistische Kennzahlen zur Charakterisierung von Grundgesamtheiten**

Ein elementares Ziel von Stichprobenuntersuchungen ist die Schätzung von Kennzahlen, welche die Verteilung gewisser Untersuchungsmerkmale in der Grundgesamtheit der Untersuchungseinheiten charakterisieren. Besonders häufig geht es um die Schätzung folgender Kennzahlen:

- arithmetisches Mittel,
- Totalwert,
- Verhältnis zwischen zwei Totalwerten oder Mittelwerten,
- Anteil der Einheiten, die zu einer bestimmten Teilgruppe oder Kategorie gehören.

Im Folgenden wird gezeigt, um welche Kennzahlen es bei der Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr vorrangig geht. Je nachdem, ob es sich um ein ereignisbezogenes oder zustandsbeschreibendes Merkmal handelt, spielen die oben genannten Typen von Kennzahlen eine unterschiedliche Rolle.

<sup>13</sup> In der klassischen Stichprobentheorie wird davon ausgegangen, dass die Grundgesamtheit aus endlich vielen Untersuchungseinheiten besteht. Man interessiert sich dann für die Verteilung der Merkmale der Untersuchungseinheiten in der Grundgesamtheit, insbesondere für die Mittelwerte und Summen dieser Merkmale. Daneben sind aber auch gewisse Verhältniszahlen und weitere Kennzahlen von Interesse.

## Ergänzende Anmerkungen

Da die Untersuchungsmerkmale häufig dichotome (binäre) Merkmale sind, ist das Ergebnis einer Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr in vielen Fällen eine empirische Quote. Typische Beispiele sind die Gurtrage- und Lichteinschaltquote sowie diverse weitere Verhaltens- oder Befolgungsquoten wie etwa die Blinkquote beim Verlassen eines Kreisverkehrs.

Alle diese empirischen Quoten sind Stichprobenkennzahlen, d. h. beschreiben zunächst nur das Verhalten der in die Stichprobe gelangten Fahrer oder Insassen im Moment ihrer Vorbeifahrt am Beobachtungsort. Wie in der Statistik allgemein üblich werden auch bei Beobachtungen im fließenden Verkehr Stichprobenkennzahlen als Schätzer für bestimmte Grundgesamtheitskennzahlen verwendet.

Im Folgenden wird gezeigt, dass durch empirische Verhaltens- oder Befolgungsquoten aus stichprobenartigen Beobachtungen im fließenden Verkehr ganz unterschiedliche Arten von Grundgesamtheitskennzahlen geschätzt werden. Welche Grundgesamtheitskennzahl durch eine empirische Verhaltens- oder Befolgungsquote geschätzt wird, hängt ganz von der Art des Untersuchungsmerkmals ab. Formal identische Stichprobenkennzahlen sind je nach Untersuchungsmerkmal Schätzer für ganz unterschiedliche Grundgesamtheitskennzahlen.

Im Folgenden wird teilweise auch bereits angedeutet, wie die interessierenden Kennzahlen des Verkehrsverhaltens zu schätzen sind. Dabei wird angenommen, dass die Auswahlgesamtheit für die Stichprobenziehung durch die Menge der  $N \cdot T$  Kombinationen von Beobachtungsorten und Beobachtungsperioden<sup>14</sup> gegeben ist. Aus den  $N \cdot T$  Beobachtungseinheiten werden  $n$  Einheiten (Kombinationen von Beobachtungsorten und Beobachtungszeiten) ausgewählt und es werden alle zuge-

ordneten Vorbeifahrten erfasst. Beim betrachteten Auswahlverfahren handelt es sich also um eine einstufige Klumpenstichprobe.

## 4.2 Kennzahlen für ereignisbezogene Verhaltensmerkmale

### 4.2.1 Relative Häufigkeit bestimmter Verhaltensweisen (Anteilswerte)

Handelt es sich bei dem interessierenden Verhaltensmerkmal um ein ereignisbezogenes Merkmal wie z. B. Blinken, so geht es meist um die Schätzung des Anteils  $Q$  der Ereignisse<sup>15</sup>, bei denen die in Rede stehende Verhaltensweise (hier: Blinken) gezeigt wird. Das untersuchte Verhaltensmerkmal ist in diesen Fällen dichotom (hier: Blinken ja/nein).

Die zu schätzende Grundgesamtheitskennzahl  $P$  ist hier definiert als

$$P = Y_T / X_T,$$

wobei

$X_T$  die Gesamtzahl aller Ereignisse im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums

und

$Y_T$  die Zahl der „positiven“ Ereignisse im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums, d. h. der Ereignisse, bei denen das interessierende Verhalten gezeigt wird,

bezeichnen.

Wie der Anteil  $P$  der „positiven“ Ereignisse zu schätzen ist, hängt davon ab, ob die betreffenden Ereignisse nur an bestimmten Orten im Straßennetz oder an jeder beliebigen Stelle im Netz auftreten können.

Treten die untersuchungsrelevanten Ereignisse nur an ganz bestimmten Orten auf, so kann das interessierende Verkehrsverhalten selbstverständlich nur an Orten des betreffenden Typs beobachtet werden. Beispielsweise lässt sich das Verhalten beim Verlassen eines Kreisverkehrs naturgemäß nur an Ausfahrten aus Kreisverkehren beobachten. Die Menge der möglichen Beobachtungsorte kann in diesem Fall auf die Gesamtheit aller Ausfahrten aus Kreisverkehren im Untersuchungsgebiet eingeschränkt werden. An den ausgewählten Beobach-

<sup>14</sup> Der gesamte Untersuchungszeitraum (z. B. 1 Kalenderjahr) wird in  $T$  Zeitintervalle gleicher Länge (z. B. 3 Stunden) zerlegt.

<sup>15</sup> Unter einem „Ereignis“ ist hier ein „Manöver“ oder „Fahrmanöver“ zu verstehen, d. h. eine Bewegung, die mit einem Fahrzeug ausgeführt wird. Beispiele für solche Ereignisse oder Manöver sind „Verlassen eines Kreisverkehrs“ oder „Wechsel des Fahrstreifens“. Das im Zusammenhang mit diesen Ereignissen oder Manövern interessierende Verhaltensmerkmal ist „Blinken ja/nein“.

tungsorten wird während der ausgewählten Beobachtungszeiten registriert, wie viele Fahrzeuge den Kreisverkehr an der betreffenden Ausfahrt verlassen haben (Ereignisse insgesamt) und wie häufig dabei geblinkt worden ist (positive Ereignisse).

Wenn die untersuchungsrelevanten Ereignisse an jeder beliebigen Stelle im Netz auftreten können, so muss bei der Abgrenzung der Menge der möglichen Beobachtungsorte vom Konzept der Zerlegung des Gesamtnetzes in einzelne kleine Streckenabschnitte ausgegangen werden. Beobachtet wird dann, wie viele Ereignisse der jeweiligen Art auf den ausgewählten Abschnitten in den ausgewählten Zeitintervallen insgesamt eingetreten sind und wie häufig dabei das interessierende Verhalten gezeigt wurde. Als Beispiel kann hier dienen, wie häufig beim Wechsel des Fahrstreifens (Ereignisse insgesamt) geblinkt wurde (positive Ereignisse).

Sowohl bei ortsbezogenen als auch bei ortsunabhängigen ereignisbezogenen Verhaltensmerkmalen können letztlich die Beobachtungseinheiten, also die Kombinationen von Beobachtungsorten und -zeiten, uneingeschränkt zufällig ausgewählt und die zugeordneten Vorbeifahrten im Rahmen eines Klumpenverfahrens erhoben werden.

Handelt es sich um eine einstufige Klumpenauswahl, so kann der unbekannte Grundgesamtheitsanteil  $P$  durch die im Rahmen der stichprobenartigen Verhaltensbeobachtung ermittelte empirische Verhältniszahl (Verhaltens- bzw. Befolungsquote)

$$\frac{y}{x}$$

geschätzt werden, wobei

$y$  die Zahl der Vorbeifahrten, bei denen die interessierende Verhaltensweise beobachtet wurde, und

$x$  die Zahl aller registrierten Vorbeifahrten

bezeichnen.<sup>16</sup>

Erhält man aus der Stichprobe beispielsweise die empirische Quote  $y/x$ , so wird man als Punktschätzwert für den Grundgesamtheitsanteil  $Q$  der „positiven“ Ereignisse den Wert 78 % verwenden. Dieser Schätzwert lässt sich dann wie folgt interpretieren:

- Bei etwa 78 % aller im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums stattfindenden untersuchungsrelevanten Ereignisse (z. B. Fahrmanöver „Wechsel des Fahrstreifens“) ist das Verhalten des Fahrers korrekt („Blinken“).

Folgende Aussagen sind dagegen nicht zulässig:

- Bei etwa 78 % der Fahrten von Fahrzeugen im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums ist das Verhalten korrekt (Blinken beim Wechsel des Fahrstreifens).
- Etwa 78 % der Fahrer verhalten sich im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums im Hinblick auf das interessierende Ereignis korrekt.

#### 4.2.2 Absolute Häufigkeiten von Verhaltensweisen

Für ereignisbezogene Verhaltensmerkmale interessieren neben Anteilswerten, d. h. relativen Häufigkeiten, auch absolute Häufigkeiten, wobei Letztere in der Regel anschaulich interpretierbar sind. Beispiel: Bei jährlich insgesamt  $X_T$  Ausfahrten von Fahrzeugen aus einem Kreisverkehr wird in  $Y_T$  Fällen geblinkt.

Wurden im Rahmen einer Stichprobenuntersuchung aus den  $N \cdot T$  Beobachtungseinheiten  $n$  Einheiten ausgewählt, so sind bei einstufiger Klumpenauswahl die Ereignishäufigkeiten  $Y_T$  und  $X_T$  bezogen auf das Untersuchungsgebiet im Untersuchungszeitraum wie folgt zu schätzen:

$$Y = \frac{NT}{n} y \quad \text{geschätzte Gesamtzahl der „positiven“ Ereignisse,}$$

$$X = \frac{NT}{n} x \quad \text{geschätzte Gesamtzahl aller Ereignisse.}$$

Die absoluten Häufigkeiten  $Y_T$  und  $X_T$  beziehen sich ebenso wie ihre Schätzer auf den Untersuchungszeitraum als Ganzes. Ausgehend hiervon können natürlich auch mittlere tägliche Ereignishäufigkeiten berechnet werden. Bezeichnet  $d$  die Länge des Untersuchungszeitraums in Tagen, so wird die durchschnittliche tägliche Anzahl der positiven Ereignisse durch  $Y/d$  geschätzt. Entsprechend ist  $X/d$  eine Schätzung für die durchschnittliche tägliche Anzahl aller Ereignisse der interessierenden Art.

<sup>16</sup> Die Schätzung der Grundgesamtheitskennzahlen wird ausführlich in Kapitel 6 behandelt.

### 4.2.3 Arithmetische Mittelwerte und Totalwerte von Verhaltensmerkmalen

Ereignisbezogene Merkmale können grundsätzlich auch metrisches Skalenniveau haben. Ein Beispiel hierfür wäre etwa beim Ereignis „Rechtseinbiegen in den Hauptstrom an einer Einmündung“ das Merkmal „Anhaltedauer vor dem Rechtseinbiegen“ (in Sekunden). Das Merkmal ist stetig, jede nicht-negative reelle Zahl kommt prinzipiell als Merkmalsausprägung infrage.

Bezeichnet man mit  $X_T$  die Gesamtzahl der betreffenden Einbiegevorgänge im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums (absolute Ereignishäufigkeit) und mit  $H_T$  den zugehörigen Totalwert des Merkmals Anhaltedauer der Rechtseinbieger, so ist das arithmetische Mittel der Anhaltedauer in der hier vorliegenden Grundgesamtheit der Vorbeifahrten von Rechtseinbiegern an Einmündungen durch

$$\mu_H = H_T / X_T$$

gegeben. Unter Umständen ist neben dem Mittelwert der Anhaltedauer auch der Totalwert  $H_T$  dieses Merkmals von Interesse (Summe der Wartezeiten im untersuchten Gebiet und Zeitraum).

Im Fall der einstufigen Klumpenauswahl wird der Totalwert  $H_T$  des ereignisbezogenen Verhaltensmerkmals geschätzt durch

$$Y = \frac{NT}{n} y$$

wobei  $y$  jetzt aber keine Ereignishäufigkeit, sondern die in der Stichprobe ermittelte Summe der Wartezeiten ist. Da wie zuvor

$$X = \frac{NT}{n} x$$

als Schätzer für die Gesamtzahl  $X_T$  aller relevanten Ereignisse verwendet wird, ist der Quotient

$$\frac{y}{x}$$

ein Schätzer für das arithmetische Mittel  $\mu_H$ .

### 4.2.4 Verhältniszahlen

Gegebenfalls kann auch das Verhältnis der Mittel- oder Totalwerte zweier ereignisbezogener Verhaltensmerkmale von Interesse sein.

Wenn man beispielsweise an Einmündungen Vorbeifahrten von Rechtseinbiegern (Teilgesamtheit 1) und Linkseinbiegern (Teilgesamtheit 2) in den Hauptstrom als Untersuchungseinheiten betrachtet, so gibt die Kennzahl

$$R = \mu_{H1} / \mu_{H2}$$

das Verhältnis zwischen der mittleren Wartezeit von Rechts- und Linkseinbiegern an den Einmündungen im Untersuchungsgebiet und Untersuchungszeitraum an.

## 4.3 Kennzahlen für zustandsbeschreibende Verhaltensmerkmale

### 4.3.1 Methodisches Grundkonzept der Kennzahlenbildung

Zustandsbeschreibende Verhaltensmerkmale charakterisieren nicht das Verhalten des Fahrers oder der Insassen bei einzelnen (diskreten) Ereignissen oder Manövern, sondern vielmehr das Verhalten während der Fahrt insgesamt. Im Fahrtverlauf sind dabei in aller Regel Verhaltensänderungen, d. h. Änderungen der Merkmalsausprägung bzw. Übergänge von einem Zustand in einen anderen, möglich. Bei aufeinander folgenden Vorbeifahrten ein und desselben Fahrzeugs an verschiedenen Straßenquerschnitten kann ein zustandsbeschreibendes Verhaltensmerkmal also unterschiedliche Ausprägungen besitzen.

Zustandsbeschreibende Verhaltensmerkmale sind meist kategoriell, können aber auch metrisch sein. So sind „Fahren mit Tagesfahrlicht (ja/nein)“ bzw. „Sicherungsverhalten bei der Fahrt (nicht gesichert, nicht korrekt gesichert, korrekt gesichert)“ Beispiele für kategorielle Verhaltensmerkmale. Beispiele für metrische Merkmale aus der Klasse der zustandsbeschreibenden Verhaltensmerkmale sind „Fahrgeschwindigkeit in km/h“ und „Zahl der Fahrzeuginsassen“.

Bei der Untersuchung zustandsbeschreibender Merkmale im Rahmen einer Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr ist immer nach dem Konzept der Zerlegung des Gesamtnetzes in  $N$  Streckenabschnitte der Länge  $m$  vorzugehen.<sup>17</sup>

<sup>17</sup> Da das Produkt  $N \cdot m$  gleich der gesamten Netzlänge ist, hängt die Zahl  $N$  der Streckenabschnitte von der gewählten Abschnittslänge  $m$  ab.



Wenn es im Untersuchungszeitraum an den  $N$  Streckenabschnitten im Untersuchungsgebiet insgesamt  $X_T$  Vorbeifahrten gibt, so ist mit jeder Fahrzeug-Vorbeifahrt eine Fahrstrecke der Länge  $m$  verbunden (sofern die entsprechende Fahrt nicht genau in diesem Streckenabschnitt beginnt oder endet). Das Produkt

$$U = m \cdot X_T$$

ist somit gleich der Gesamtfahrleistung aller Fahrzeuge im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums.<sup>18</sup>

Gliedert man die Vorbeifahrten nach dem beobachteten Verhaltensmerkmal auf (z. B. Vorbeifahrten mit (+) und ohne (-) eingeschaltetem Tagesfahrlicht), so ist durch

$$U_+ = m \cdot X_{T+} \quad \text{bzw.} \quad U_- = m \cdot X_{T-}$$

die Gesamtfahrleistung mit bzw. ohne Tagesfahrlicht gegeben. Beides sind Kennzahlen des Verkehrsverhaltens, genauer, Kennzahlen des Verhaltens bei der Verkehrsteilnahme.

Es versteht sich, dass auch Quotienten von Totalwerten des obigen Typs, also Verhältniszahlen, zur Beschreibung des Verhaltens der Verkehrsteilnehmer beim Unterwegssein im Straßennetz verwendet werden können.

#### 4.3.2 Spezifische Fahrleistungstotalwerte als Kennzahlen für kategorielle Verhaltensmerkmale

Ein typisches Beispiel für einen Fahrleistungstotalwert als Verhaltenskennzahl ist der Totalwert

$$U_+ = m \cdot X_{T+}$$

der mit Licht zurückgelegten Fahrzeug-Kilometer im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums. Als Grundgesamtheitscharakteristikum ist diese Kennzahl natürlich unbekannt, ihre genaue Ermittlung würde eine Vollerhebung aller Vorbeifahrten an den  $N$  Streckenabschnitten im Untersuchungszeitraum voraussetzen.

Aus einer stichprobenartigen Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr lässt sich die mit der interessierenden Verhaltensweise erbrachte Fahrleistung (d. h. die Summe der im interessierenden Zustand zurückgelegten Fahrzeugkilometer) immerhin aber schätzen:

Wurden aus den  $N \cdot T$  Beobachtungseinheiten  $n$  Einheiten ausgewählt und ist die Länge der Streckenabschnitte, in die das Netz zerlegt ist,  $m$  Meter, so ist – falls in der Stichprobe insgesamt  $y$  Vorbeifahrten des interessierenden Typs gezählt worden sind (hier Vorbeifahrten mit Licht) – offenkundig

$$\frac{NT}{n} my$$

ein erwartungstreuer Schätzer für die mit der interessierenden Verhaltensweise (also z. B. mit Licht) erbrachten Fahrleistung  $U_+$  im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums.

#### 4.3.3 Verhältniszahlen: Quotienten spezifischer Fahrleistungstotalwerte

Bei kategoriellen zustandsbeschreibenden Verhaltensmerkmalen wie z. B. Fahren mit/ohne Tagesfahrlicht ist die zu schätzende Grundgesamtheitskennzahl  $R$  in vielen Fällen definiert als

$$R = U_+ / U,$$

wobei wie zuvor

$U$  die Summe aller Fahrzeugkilometer im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums

und

$U_+$  die Summe der „positiven“ Fahrzeugkilometer im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums, d. h. der Kilometer, die im interessierenden Zustand zurückgelegt werden,

bezeichnen. In Kurzform könnte man hier die Verhaltenskennzahl  $R$  den Anteil der „Licht-Kilometer“ an der Summe aller Fahrzeug-Kilometer nennen.

Die Kennzahl  $R$  ist im statistischen Sinn allerdings kein Anteilswert, sondern eine Verhältniszahl (genauer eine Gliederungszahl), die angibt, wie sich beispielsweise die Summe aller gefahrenen Kilometer auf Fahrtabschnitte mit bzw. ohne Tagesfahrlicht aufteilt.

<sup>18</sup> Die Kennzahl  $U$  ist ganz unmittelbar natürlich zu interpretieren als Totalwert des Merkmals „Länge der Vorbeifahrt“ ( $y$ ). Für jede Vorbeifahrt  $j$  hat dieses Merkmal dieselbe Ausprägung, nämlich  $y_j = m$  ( $j = 1, \dots, X_T$ ).

Auf der Grundlage stichprobenartiger Verhaltensbeobachtungen im fließenden Verkehr können neben Fahrleistungstotalwerten auch Verhältniszahlen im Sinne von Quotienten zweier Fahrleistungstotalwerte geschätzt werden. Das auf den ausgewählten Abschnitten beobachtete Verhalten führt zu einer auf Stichprobenbasis berechneten Verhältniszahl

$$\frac{y}{x},$$

wobei wie zuvor

$y$  die Zahl der Vorbeifahrten, bei denen die interessierende Verhaltensweise beobachtet wurde, und

$x$  die Zahl aller registrierten Vorbeifahrten bezeichnen.

Die Stichprobenverhältniszahl  $y/x$  ist, wie im Folgenden noch näher erläutert wird, ein Schätzwert für die unbekannte Grundgesamtheitskennzahl (Gliederungszahl)  $R$ .

Ergibt sich in der Stichprobe z. B. eine empirische Lichteinschaltquote von  $y/x = 0,21$ , so heißt dies im Sinne eines Punktschätzwertes für  $R$ , dass rund 21 % der im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums gefahrenen Fahrzeugkilometer mit eingeschaltetem Tagesfahrlicht zurückgelegt wurden.

Ein erwartungstreuer Schätzer für die Gesamtfahrleistung  $U$  im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums ist gegeben durch

$$\frac{NT}{n} mx.$$

Ganz entsprechend ist

$$\frac{NT}{n} my$$

ein erwartungstreuer Schätzer für die Summe der Fahrzeugkilometer mit Licht. Für das Verhältnis dieser beiden Schätzer gilt

$$\frac{\frac{NT}{n} my}{\frac{NT}{n} mx} = \frac{y}{x}.$$

Bezogen auf das Beispiel „Tagesfahrlicht“ bedeutet dies, dass die aus einer Verhaltensbeobachtung im

fließenden Verkehr ermittelte empirische Lichteinschaltquote<sup>19</sup>  $y/x$  ein (asymptotisch erwartungstreuer) Schätzer für die unbekannte Quote  $R$  der mit Tagesfahrlicht zurückgelegten Fahrzeugkilometer im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums ist.

Eine empirische Verhaltensquote, die sich nicht auf Fahrzeug –, sondern Insassen-Vorbeifahrten bezieht, kann ganz analog als Schätzwert für den Anteil der Personenverkehrsleistung, die in einem bestimmten Zustand (z. B. mit angelegtem Gurt) erbracht worden ist, verwendet werden.

### Ergänzende Anmerkungen

Die empirische Quote  $y/x$  kann auch mit einem Fahrleistungstotalwert  $U_0$ , der aus einer unabhängigen Untersuchung vorliegt, verknüpft werden. Man erhält so eine Schätzung für die im interessierenden Zustand insgesamt erbrachte Fahrleistung im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums. Es handelt sich also um einen Verhältnisschätzer für den spezifischen Fahrleistungstotalwert.

Voraussetzung hierbei ist, dass das Untersuchungsmerkmal als 0/1-Merkmal auf Ebene der (Fahrzeug-)Vorbeifahrt vorliegt, wie dies beim Fahren mit/ohne Tagesfahrlicht der Fall ist. Wird durch Verhaltensbeobachtung hingegen eine Quote ermittelt, die sich auf Insassen-Vorbeifahrten bezieht (z. B. Gurtragen ja/nein), muss diese mit der entsprechenden Personenverkehrsleistung verknüpft werden.

### 4.3.4 Durchschnittsgeschwindigkeit als Verhältniszahl bzw. harmonisches Mittel

Bei entsprechender apparativer Ausstattung kann bei einer Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr auch die Fahrgeschwindigkeit der vorbeifahrenden Fahrzeuge erhoben (gemessen) werden. Aus den dabei ermittelten „lokalen“ Geschwindigkeiten<sup>20</sup> lässt sich die mittlere Reisegeschwindigkeit der Fahrzeuge im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums berechnen.

<sup>19</sup> Anteil der beobachteten Vorbeifahrten „mit Licht“.

<sup>20</sup> engl. point velocity, spot speed

Könnte man – ausgehend vom Konzept der Zerlegung des gesamten Straßennetzes in viele kleine Abschnitte gleicher Länge – im Sinne einer Vollerhebung für jede Vorbeifahrt die (lokale) Geschwindigkeit ermitteln, so ließe sich die mittlere Reisegeschwindigkeit exakt bestimmen:

Bezeichnet man mit  $v_{ij}$  die bei der  $j$ -ten Vorbeifahrt am  $i$ -ten Beobachtungsort (Streckenabschnitt) gemessene Geschwindigkeit, so stellt  $m/v_{ij}$  die zum Durchfahren des  $i$ -ten Abschnitts benötigte Fahrdauer des betreffenden Fahrzeugs dar. Die Summe der auf den  $i$ -ten Streckenabschnitt entfallenden Fahrdauerwerte im Untersuchungszeitraum ist dann durch

$$D_i = \sum_j (m / v_{ij}) = m \sum_j (1/v_{ij})$$

gegeben, wobei über alle Vorbeifahrten  $j = 1, \dots, x_i$  summiert wird; dabei gibt  $x_i$  für den betrachteten Abschnitt  $i$  ( $i = 1, \dots, N$ ) die Gesamtzahl der Vorbeifahrten im Untersuchungszeitraum an. Da das Netz aus  $N$  Streckenabschnitten besteht, ist auf Ebene der Fahrzeugfahrten

$$D_T = \sum D_i = m \sum_i \sum_j (1/v_{ij})$$

die Summe der Reisezeiten (Totalwert der Fahrdauer) im Netz während des Untersuchungszeitraums.

Da auf dem  $i$ -ten Abschnitt jede Vorbeifahrt eine Fahrstrecke der Länge  $m$  bedeutet, sind  $S_i = m \cdot x_i$  die auf den  $i$ -ten Abschnitt entfallende Summe der Reiseweiten der Fahrzeuge und

$$S_T = \sum S_i = m \sum x_i$$

die Summe der Reiseweiten (Fahrzeugfahrleistungen) im gesamten Netz und Untersuchungszeitraum.

Die mittlere Reisegeschwindigkeit der Fahrzeuge im betrachteten Untersuchungsgebiet und Untersuchungszeitraum ist definitionsgemäß durch das Verhältnis zwischen der Summe der Reiseweiten und der Summe der zugehörigen Reisezeiten der Fahrzeuge gegeben:

$$\mu_v = S_T / D_T .$$

Bezeichnet man den Kehrwert der lokalen Geschwindigkeiten mit  $a_{ij} = 1/v_{ij}$  und die Summe dieser Größen für den  $i$ -ten Streckenabschnitt mit  $a_i$ , so erhält man die mittlere Reisegeschwindigkeit als Verhältniszahl

$$\mu_v = \sum x_i / \sum a_i = X_T / A_T,$$

d. h. als Verhältnis zwischen der Gesamtzahl aller Vorbeifahrten und der zugehörigen Summe der Kehrwerte der lokalen Geschwindigkeiten.

Letztere Darstellung ist gleichbedeutend mit

$$\mu_v = X_T / [\sum_i \sum_j (1/v_{ij})],$$

d. h., die mittlere Reisegeschwindigkeit der Fahrzeuge im Netz ist gleich dem harmonischem Mittel der lokalen Geschwindigkeiten, die zu den insgesamt  $X_T = \sum_i x_i$  Vorbeifahrten an den  $N$  Streckenabschnitten im gesamten Untersuchungszeitraum gehören.

Aus einer stichprobenartigen Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr kann im Fall der einstufigen Klumpenauswahl von Beobachtungseinheiten die mittlere Reisegeschwindigkeit  $\mu_v$  durch die Verhältniszahl

$$\frac{x}{a}$$

geschätzt werden, wobei

$a$  die Summe der Kehrwerte der gemessenen Geschwindigkeiten und

$x$  die Zahl der registrierten Fahrzeug-Vorbeifahrten

bezeichnen.

#### 4.3.5 Mittlerer Besetzungsgrad als Verhältniszahl

Bei einer Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr kann auch die Zahl der Fahrzeuginsassen als ein diskretes metrisches Merkmal von Fahrzeug-Vorbeifahrten mit den Ausprägungen 1, 2, ... erfasst werden. Dies eröffnet die Möglichkeit einer Schätzung des durchschnittlichen Besetzungsgrads der Fahrzeuge bei ihren Fahrten im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums.

Wie oben dargestellt, ist das Produkt

$$U = m \cdot X_T$$

gleich der Gesamtfahrleistung aller Fahrzeuge. Wenn man mit  $y_j$  die Zahl der Fahrzeug-Insassen bei der  $j$ -ten Fahrzeug-Vorbeifahrt bezeichnet, so ist  $m \cdot y_j$  die zur  $j$ -ten Fahrzeug-Vorbeifahrt gehörende Personenverkehrsleistung. Summiert man die  $y_j$ -Werte über alle Fahrzeug-Vorbeifahrten  $j = 1, \dots,$

$X_T$  und bezeichnet man diese Summe mit  $Y_T$  (Gesamtzahl der Insassen-Vorbeifahrten), so ist offenkundig durch

$$V = m \cdot Y_T$$

die gesamte Personenverkehrsleistung (Personen-Kilometer) der Fahrzeuginsassen im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums gegeben.

Die Verhältniszahl

$$B = V/U = Y_T / X_T,$$

also das Verhältnis zwischen Personenverkehrsleistung des Insassen und Fahrleistung der Fahrzeuge bzw. Insassen-Vorbeifahrten und Fahrzeug-Vorbeifahrten, kann als mittlerer Besetzungsgrad der Fahrzeuge bei ihren Fahrten im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums interpretiert werden.

Der obige Besetzungsgrad  $B$  entspricht, wie man sich leicht überlegt, dem Durchschnittswert, der sich ergibt, wenn man über alle Fahrzeug-Fahrten (nicht Fahrzeug-Vorbeifahrten) im Gebiet den mit der jeweiligen Fahrlänge gewogenen Durchschnitt der Insassenzahl berechnet. Die Kennzahl  $B$  kann also auch als „fahrlängengewichteter mittlerer Besetzungsgrad“ bezeichnet werden.

Auf Stichprobenbasis kann im Fall der einstufigen Klumpenstichprobe der Besetzungsgrad  $B$  durch die Verhältniszahl

$$\frac{y}{x},$$

geschätzt werden, wobei

$y$  die Zahl der registrierten Insassen-Vorbeifahrten und

$x$  die Zahl der registrierten Fahrzeug-Vorbeifahrten

bezeichnen.

<sup>21</sup> Je nach Erhebungsmerkmal ist darunter die Vorbeifahrt eines Fahrzeugs (z. B. bei einer Studie zum Fahren mit Tagesfahrlicht) oder eines Fahrzeuginsassen (z. B. bei einer Erhebung zur Sicherung von Kindern) zu verstehen.

<sup>22</sup> Eine Vorbeifahrt kann prinzipiell an jedem Ort im Straßennetz zu jedem beliebigen Zeitpunkt stattfinden. Die Fahrt eines Fahrzeugs von A nach B generiert eine Gesamtheit von Vorbeifahrten an Straßenquerschnitten, die auf der Route von A nach B liegen.

## 5 Stichprobendesigns für Verhaltensbeobachtungen im fließenden Verkehr

### 5.1 Stichprobentheoretischer Rahmen

Das im vorliegenden Kapitel 5.1 entwickelte statistische Grundkonzept stellt den Ausgangspunkt für alle folgenden Überlegungen zum Stichprobendesign sowie zur Hochrechnung von Verkehrsverhaltensbeobachtungen dar. Es ist insofern ein Kernstück des hier erarbeitenden methodischen Rahmenkonzepts.

#### 5.1.1 Untersuchungseinheiten

Um eine Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr durchführen zu können, müssen Beobachtungsstandorte im Verkehrsnetz ausgewählt und Beobachtungszeiträume festgelegt werden. Ist dies geschehen, so werden an den betreffenden Orten während der jeweiligen Zeiträume die Merkmale von vorbeifahrenden Fahrzeugen bzw. deren Insassen erfasst.

Bei der Verkehrsverhaltensbeobachtung ist eine Untersuchungseinheit somit gegeben durch eine Vorbeifahrt<sup>21</sup> an einem Straßenquerschnitt des Untersuchungsgebiets zu einem Zeitpunkt innerhalb des Untersuchungszeitraums. Vorbeifahrten sind also die Träger der Merkmale, die im Rahmen der Verkehrsverhaltensbeobachtung erfasst werden. Jede Verkehrsverhaltensbeobachtung liefert eine Stichprobe aus der Grundgesamtheit aller Vorbeifahrten, die im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums stattfinden.

#### 5.1.2 Erhebungseinheiten

Vorbeifahrten als Untersuchungseinheiten einer Verkehrsverhaltensbeobachtung sind Ereignisse bzw. Vorgänge, die zufällig in Raum und Zeit stattfinden.<sup>22</sup> Aus diesem Grund existiert keine Auswahlgrundlage im Sinne einer Liste aller Vorbeifahrten an den Straßenquerschnitten eines Gebiets während eines Zeitraums, aus welcher eine einfache Zufallsstichprobe von Vorbeifahrten gezogen werden könnte. Wie immer in solchen Situationen muss man sich den Zugang zu den Untersuchungseinheiten über geeignete Erhebungseinheiten verschaffen.

Als Erhebungseinheiten kommen hier naturgemäß Kombinationen von Beobachtungsorten und Be-

obachtungszeiten in Betracht. Mögliche Beobachtungsorte sind ganz allgemein Straßenquerschnitte bzw. Straßenabschnitte im Untersuchungsgebiet. Mögliche Beobachtungszeiten sind naturgemäß gewisse Zeitintervalle innerhalb des gesamten Untersuchungszeitraums einer Verkehrsverhaltensbeobachtung.

Bei der Beobachtung von ortsbezogenen Verhaltensmerkmalen besteht die Menge der möglichen Beobachtungsorte aus allen Punkten im Straßennetz, an denen das interessierende Verhalten beobachtet werden kann. Im Zusammenhang mit dem ortsbezogenen Verhaltensmerkmal „Blinken beim Verlassen eines Kreisverkehrsplatzes“ ist dies z. B. die Menge aller Ausfahrten aus Kreisverkehren, die sich in einem bestimmten Untersuchungsgebiet befinden. Die Menge der möglichen Beobachtungsorte enthält bei ortsbezogenen Verhaltensmerkmalen endlich viele Elemente.

Bei der Beobachtung von ortsunabhängigen Verhaltensmerkmalen kann es dagegen theoretisch unendlich viele mögliche Beobachtungsorte im Untersuchungsgebiet geben. Beispiele hierfür sind Untersuchungen zum Thema Gurtragen oder Tagessfahrlicht, wo das betreffende Verhalten (Fahren mit angelegtem Gurt bzw. eingeschaltetem Fahrlicht) prinzipiell an jedem Querschnitt im betrachteten Straßennetz beobachtet werden kann. In diesen Fällen ist es zweckmäßig, sich in leichter Idealisierung das Straßennetz in einzelne Abschnitte, z. B. der Länge 10 Meter, zerlegt vorzustellen und die Mittelpunkte dieser Abschnitte als die (endliche) Gesamtheit aller möglichen Beobachtungsorte zu interpretieren. Bei einer Abschnittslänge von 10 Meter würde sich das deutsche Straßennetz als Ganzes aus ca. 64,4 Millionen Straßenquerschnitten zusammensetzen.<sup>23</sup> Unterstellt wird dabei, dass das im Mittelpunkt beobachtete Verhalten an jedem beliebigen Punkt des zugehörigen Abschnitts unverändert vorliegt; der Mittelpunkt repräsentiert also den kompletten Abschnitt.

Stellt man sich ganz entsprechend den gesamten Untersuchungszeitraum einer Verkehrsverhaltensbeobachtung (z. B. ein Kalenderjahr) in Zeitinter-

valle gleicher Länge (z. B. 1 Stunde) zerlegt vor, so sind alle im Untersuchungszeitraum liegenden Zeitintervalle mögliche Beobachtungszeiten. Ein Kalenderjahr als Untersuchungszeitraum umfasst beispielsweise 8.760 einstündige Beobachtungszeitintervalle.

Da sich grundsätzlich jeder der  $N$  möglichen Beobachtungsorte mit jedem der  $T$  möglichen Beobachtungszeitintervalle kombinieren lässt, kann die aus  $N \cdot T$  Erhebungseinheiten bestehende Auswahlgesamtheit einer Verkehrsverhaltensbeobachtung einen beträchtlichen Umfang besitzen (ein etwas einfacheres Verfahren wird in Kapitel 5.3 vorgestellt).

### 5.1.3 Struktur des Auswahlverfahrens

Wenn  $N$  die Zahl der möglichen Beobachtungsorte im Untersuchungsgebiet und  $T$  die Zahl der möglichen Beobachtungszeitintervalle im Untersuchungszeitraum bezeichnen, so ist der Umfang der Auswahlgesamtheit einer Verkehrsverhaltensbeobachtung, d. h. die Gesamtzahl aller Erhebungseinheiten, durch das Produkt  $N \cdot T$  gegeben.

Bei der Verkehrsverhaltensbeobachtung wird aus der Auswahlgesamtheit aller  $N \cdot T$  möglichen Kombinationen von Beobachtungsorten und Beobachtungszeiten eine Stichprobe gezogen,<sup>24</sup> und es werden diejenigen Vorbeifahrten erfasst, welche den in die Stichprobe gelangten Erhebungseinheiten (Kombinationen von Beobachtungsorten und -zeiten) zugeordnet sind, d. h. am betreffenden Ort während des betreffenden Zeitintervalls beobachtet werden.

Aus statistischer Sicht ist das Auswahlverfahren bei einer Verkehrsverhaltensbeobachtung mithin als Klumpenstichprobenverfahren einzustufen:

- Primäreinheiten sind die möglichen Kombinationen von Beobachtungsorten und -zeiten,
- Sekundäreinheiten sind die diesen Orten und Zeiten zugeordneten Vorbeifahrten von Fahrzeugen bzw. Fahrzeuginsassen.

Werden für die ausgewählten Orte und Zeiten jeweils alle Vorbeifahrten erfasst, so liegt eine einstufige Klumpenstichprobe (mit variierender Klumpengröße) vor.

Grundsätzlich kann bzw. sollte die Stichprobenziehung der Primäreinheiten aus der Gesamtheit aller

<sup>23</sup> Die Gesamtlänge aller Straßen in Deutschland (2007) beträgt ca. 644.000 km (ADAC, 2009).

<sup>24</sup> Stichproben dieser Art werden oft „Raum-Zeit-Stichproben“ genannt. Sie sind für Auswahlen aus Ereignisgesamtheiten typisch.

möglichen Kombinationen von Beobachtungsorten und -zeiten nach einem Zufallsauswahlverfahren (z. B. geschichtete Zufallsstichprobe) erfolgen. Gebräuchlich ist in der Praxis zumindest in Deutschland aber vor allem die bewusste Auswahl der Beobachtungsorte, etwa in Form der „repräsentativen Bezirke“ bei den kontinuierlichen Erhebungen zum Schutzverhalten der Verkehrsteilnehmer.

In manchen Fällen (z. B. Beobachtung des fließenden Verkehrs auf Autobahnen bei hohen Verkehrsstärken und Geschwindigkeiten) ist es aus erhebungstechnischen Gründen nicht möglich, am Beobachtungsort alle im ausgewählten Zeitabschnitt vorbeifahrenden Fahrzeuge zu erfassen. Wenn in derartigen Fällen nur ein Teil der Vorbeifahrten erhoben wird, liegt ein 2-stufiges Auswahlverfahren vor. Für die Stichprobenauswahl der am jeweiligen Ort innerhalb der Beobachtungszeit zu erhebenden Vorbeifahrten kommt insbesondere die systematische Zufallsauswahl (erfasst wird nur jede  $k$ -te Vorbeifahrt) in Betracht.

Während aus der Gesamtheit aller Vorbeifahrten von Fahrzeugen an einem bestimmten Beobachtungsort ohne weiteres eine Stichprobenauswahl getroffen werden kann (z. B. Erfassung jeder dritten Vorbeifahrt), ist dies bei Insassen-Vorbeifahrten kaum möglich. Wer oder was sollte z. B. der dritte Insasse einer Vorbeifahrt sein? Natürlich könnte man theoretisch Fahrzeuge in Sitzplatzkategorien einteilen und bei der ersten Vorbeifahrt nur den Fahrer, bei der zweiten Vorbeifahrt nur den Beifahrer (falls vorhanden) usw. beobachten. In der konkreten Umsetzung würde dieses Konzept allerdings auf viele Probleme stoßen.<sup>25</sup>

Für die Praxis bedeutet dies, dass eine ausgewählte Fahrzeug-Vorbeifahrt im Hinblick auf eventuell interessierende Insassen-Merkmale als Ganzes, d. h. als Klumpen, zu erheben ist. Sekundäreinheiten sind somit Vorbeifahrten an Beobachtungsorten. Dabei ist der Begriff Beobachtungsort im Sinne eines zu beobachtenden Straßenquerschnitts zu verstehen und nicht etwa als Standort des Beobachters.

## 5.2 Stichprobenverfahren für Verhaltensbeobachtungen im fließenden Verkehr

### 5.2.1 Grundgesamtheit und Stichprobe

Bei Erhebungen, die als Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr durchgeführt werden, ist die Grundgesamtheit gegeben durch alle im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums auftretenden relevanten Vorbeifahrten von Fahrzeugen bzw. Fahrzeuginsassen an Straßenquerschnitten.

Soweit ortsabhängige Verhaltensmerkmale beobachtet werden, ist als Grundgesamtheit die Menge der Vorbeifahrten an Querschnitten, die im Hinblick auf das betreffende Verhaltensmerkmal relevant sind, zu betrachten. Relevante Straßenquerschnitte könnten z. B. alle Ausfahrten aus Kreisverkehren, die sich in einem bestimmten Gebiet befinden, sein. Da im betreffenden Gebiet nur endlich viele Ausfahrten vorhanden sind, ist auch die Zahl der dort stattfindenden Vorbeifahrten – und damit der Umfang der Grundgesamtheit – endlich.

Bei ortsunabhängigen Verhaltensmerkmalen kann prinzipiell jeder der unendlich vielen Straßenquerschnitte in einem Gebiet im Hinblick auf das zu beobachtende Verhaltensmerkmal relevant sein. Mit der Zahl der relevanten Querschnitte ist zunächst auch die Zahl der Vorbeifahrten an Querschnitten unendlich. Durch das in Kapitel 4.2.2 beschriebene Konzept der Zerlegung des Straßennetzes in Abschnitte werden aber auch in diesem Fall die Zahl der relevanten Querschnitte und somit die Grundgesamtheit der Vorbeifahrten endlich.

Das Problem besteht nun darin,

- aus der Grundgesamtheit von Vorbeifahrten eine Stichprobe zu gewinnen,
- die in die Stichprobe gelangten Vorbeifahrten im Hinblick auf das interessierende Verhaltensmerkmal zu beobachten und
- aus den gewonnenen Stichprobendaten die im Hinblick auf das betreffende Verhaltensmerkmal interessierenden Kennzahlen zu schätzen bzw. hochzurechnen.

Im Folgenden wird zunächst der Frage nachgegangen, welche Auswahlverfahren hier infrage kommen.

<sup>25</sup> So ließe sich z. B. eine Person, die während der Fahrt liegend im Fond schläft, keiner Sitzplatzkategorie zuordnen.

### 5.2.2 Uneingeschränkte Zufallsauswahl von Vorbeifahrten – ein Gedankenmodell

Vorbeifahrten entstehen zufällig in Raum und Zeit; es existiert a priori – und im Allgemeinen auch a posteriori – keine Liste aller Vorbeifahrten eines Gebiets während eines Zeitraums, aus welcher eine einfache Zufallsstichprobe gezogen werden könnte.

In Ermangelung eines Verzeichnisses könnte man an die Ziehung einer Zufallsstichprobe aus einer „überhöhten“ Erhebungsgesamtheit denken: Jedes Tupel von Straßenquerschnitten und Zeitpunkten  $(p, t)$  mit  $p \in$  Untersuchungsgebiet und  $t \in$  Untersuchungszeitraum repräsentiert eine theoretisch mögliche Vorbeifahrt (dabei wird das Problem von mehrspurigen Straßenabschnitten ausgeklammert, bei denen zu einem festen Zeitpunkt theoretisch zwei oder mehr Vorbeifahrten parallel auftreten können). Insofern bildet die Menge aller Straßenquerschnitt-Zeitpunkt-Kombinationen die Gesamtheit aller theoretisch möglichen Vorbeifahrten.

Wenn aus dieser überhöhten Erhebungsgesamtheit der möglichen Vorbeifahrten<sup>26</sup> uneingeschränkt zufällig ausgewählt wird, werden unter Umständen sehr wenige reale Vorbeifahrten einbezogen. Ob ein in die Auswahl gelangtes Tupel  $(p, t)$  eine (reale) Vorbeifahrt definiert, kann nur „vor Ort“, d. h. am Querschnitt  $p$  zum Zeitpunkt  $t$ , entschieden werden. Der resultierende Stichprobenumfang, d. h. die Zahl der faktisch beobachteten Vorbeifahrten, ist also vom Zufall abhängig und kann nicht a priori festgelegt werden.

Hinweis: Auf keinen Fall darf bei diesem Verfahren an einem ausgewählten Straßenquerschnitt, bei dem zum ausgewählten Zeitpunkt  $t$  keine Vorbeifahrt stattgefunden hat, so lange gewartet werden, bis das erste relevante Fahrzeug vorbeifährt bzw.

die erste relevante Vorbeifahrt eintritt; dies würde zu einer Überrepräsentierung von schwach frequentierten Straßenabschnitten (und/oder Zeitpunkten) in der Stichprobe führen.

Wenn eine Stichprobe von Vorbeifahrten mittels obigen Vorgehens (Zufallsauswahl aus der überhöhten Erhebungsgesamtheit aller möglichen Kombinationen von Querschnitten und Zeitpunkten) gewonnen werden könnte, so wäre die asymptotisch erwartungstreue Schätzung der interessierenden Mittelwerte bzw. Anteilswerte mit Hilfe des Standardschätzers möglich.

Speziell im Hinblick auf die vermutlich stark überhöhte Erhebungsgesamtheit<sup>27</sup> ist das beschriebene Auswahlverfahren jedoch von überwiegend theoretischem Interesse und für die Praxis wohl kaum geeignet.

### 5.2.3 Einstufige Klumpenauswahl von Vorbeifahrten

Um dem Problem der Überhöhung zu entgehen, wird man statt Zeitpunkten Zeitintervalle (in Kombination mit einem Straßenquerschnitt) auswählen, und – wenn möglich – alle dort auftretenden Vorbeifahrten beobachten. Können alle Vorbeifahrten beobachtet werden, so liegt eine einstufige Klumpenauswahl vor.

Bei diesem Auswahlverfahren werden die Untersuchungseinheiten (Vorbeifahrten bzw. Insassen-Vorbeifahrten) nicht unabhängig voneinander, sondern als Klumpen erhoben. Im Hinblick auf das Ziehungsverfahren bildet jede Kombination eines Straßenquerschnitts mit einem Zeitintervall eine Primäreinheit. Die Primäreinheiten werden im vorliegenden Zusammenhang auch Beobachtungseinheiten genannt.

Beispiel: Repräsentiert ein Straßenquerschnitt einen Straßenabschnitt der Länge 10 Meter und definiert man Zeitintervalle von 1 Stunde, so resultieren daraus rund 564 Mrd. Primäreinheiten bzw. Klumpen, falls das Untersuchungsgebiet durch das Straßennetz von Deutschland und der Untersuchungszeitraum durch ein Kalenderjahr gegeben sind (64,4 Mio. Querschnitte/Abschnitte mal 8.760 Stunden).

### 5.2.4 Zweistufige Auswahl von Vorbeifahrten

Falls es aufgrund der Komplexität des Untersuchungsmerkmals nicht möglich ist, jede Vorbeifahrt entsprechend zu beobachten, muss wie bei Stich-

<sup>26</sup> Da sich jeder Zeitraum aus überabzählbar vielen Zeitpunkten zusammensetzt, ist der Untersuchungszeitraum zu diskretisieren, z. B. indem man „nur“ Zeitpunkte betrachtet, die – ausgehend von einem vorgegebenen Startzeitpunkt – mindestens 1/100 Sekunde auseinander liegen. Weiter muss festgelegt werden, wann eine Straßenquerschnitt-Zeitpunkt-Kombination  $(p, t)$  eine Vorbeifahrt definiert, z. B. genau dann, wenn ein Fahrzeug den Straßenquerschnitt  $p$  während des Zeitintervalls  $[t, t + 1/1.000 \text{ sec.}]$  passiert. Sonst wäre die Wahrscheinlichkeit, dass eine Straßenquerschnitt-Zeitpunkt-Kombination eine Vorbeifahrt definiert, gleich null.

<sup>27</sup> Die meisten der ausgewählten Kombinationen  $(p, t)$  wären irrelevant, weil am Ort  $p$  zum Zeitpunkt  $t$  gar keine Vorbeifahrt stattfinden würde, die man beobachten könnte.

proben aus Ereignisgesamtheiten allgemein üblich eine Schrittweite festgelegt werden, gemäß der die Vorbeifahrten in die Stichprobe einbezogen werden; die Schrittweite kann dabei in Abhängigkeit der ausgewählten Primäreinheit bestimmt werden.

Unabhängig von der Schrittweite muss bei der Erhebung die Anzahl der Vorbeifahrten insgesamt je ausgewählter Primäreinheit festgehalten werden.

Das eben beschriebene Verfahren entspricht einer zweistufigen Auswahl, wobei die Primäreinheiten durch die Kombinationen von Beobachtungsorten und -zeiten und die Sekundäreinheiten durch die zugeordneten Vorbeifahrten gegeben sind.

### 5.3 Primärauswahl: Bestimmung von Beobachtungsorten und -zeiten

Die Bestimmung der Beobachtungsorte und Beobachtungszeiten kann unabhängig voneinander erfolgen, z. B. kann man in einem ersten Schritt die Beobachtungsorte auswählen, denen dann in einem zweiten Schritt zufällig Zeitintervalle zugespielt werden.

#### 5.3.1 Bestimmung der Beobachtungsorte

Wie bereits beschrieben, kann man sich das Untersuchungsgebiet als die Menge aller relevanten Straßenquerschnitte bzw. Beobachtungsorte vorstellen.

Bei Untersuchungen von ortsbezogenen Verhaltensmerkmalen (z. B. Verhalten an Ampeln mit Grünpfeil) lässt sich das interessierende Verhalten nur an ganz bestimmten Punkten im Straßennetz beobachten, die dann das Untersuchungsgebiet im Sinne der Menge aller möglichen Beobachtungsorte festlegen (z. B. alle Ampeln mit Grünpfeil eines Bundeslandes).

Bei Untersuchungen von ortsunabhängigen Verhaltensmerkmalen wird sich das Untersuchungsgebiet in der Regel aus theoretisch unendlich vielen Straßenquerschnitten zusammensetzen. In diesem Fall ist, wie beschrieben, das zugrunde liegende Straßennetz in Straßenabschnitte fester Länge (z. B. 10 Meter) zu unterteilen; die resultierenden Mittelpunkte der Abschnitte repräsentieren dann das Untersuchungsgebiet.

Unabhängig vom Typ des zu beobachtenden Verhaltensmerkmals kann man sich also das Untersu-

chungsgebiet stets als eine endliche Menge von  $N$  Beobachtungsorten – z. B. repräsentiert durch ihre Geo-Koordinaten (Längengrad, Breitengrad) – vorstellen.

Aus der so definierten Gesamtheit der  $N$  möglichen Beobachtungsorte werden nun  $n$  Punkte uneingeschränkt zufällig mit Zurücklegen gezogen; man erhält so eine Stichprobe von Beobachtungsorten vom Umfang  $n$ .

#### 5.3.2 Bestimmung der Beobachtungszeiten

Aus beobachtungstechnischen Gründen muss man sich bei vielen Untersuchungen auf bestimmte Tageszeiten (unter Umständen in Abhängigkeit der Jahreszeit) beschränken; so sind z. B. im Rahmen der Gurttrageuntersuchungen Beobachtungen bei Dunkelheit meist nicht möglich. Der Untersuchungszeitraum  $U$  ist also so zu wählen, dass zu einem beliebigen Zeitpunkt  $t \in U$  eine Verhaltensbeobachtung mittels der eingesetzten Techniken möglich ist.

Der entsprechend festgelegte Untersuchungszeitraum ist in  $T$  Zeitintervalle der gewünschten Länge (z. B. 1 Stunde) einzuteilen. Aus der resultierenden Menge sind  $n$  Zeitintervalle uneingeschränkt zufällig mit Zurücklegen zu ziehen.

Es versteht sich, dass aus stichprobentheoretischer Sicht nur Aussagen über den im obigen Sinne festgelegten Untersuchungszeitraum möglich sind. So können z. B. aus Erhebungen bei Tag keine statistisch validen Aussagen über Gurttragequoten bei Dunkelheit abgeleitet werden.

#### 5.3.3 Bestimmung der Beobachtungseinheiten als Kombinationen von Orten und Zeiten

Kombiniert man die ausgewählten Beobachtungsorte mit den ausgewählten Zeitintervallen (z. B. indem man den ersten Beobachtungsort mit dem ersten Zeitintervall, den zweiten Beobachtungsort mit dem zweiten Zeitintervall usw. der jeweiligen Stichproben verknüpft), so erhält man die Stichprobe der  $n$  Beobachtungseinheiten  $(p, t)$ .

Theoretisch können – bedingt durch die sukzessive Vorgehensweise – Beobachtungseinheiten  $(p, t)$  mehrfach erzeugt werden. Tatsächlich entspricht das beschriebene Ziehungsverfahren einer uneingeschränkten Zufallsauswahl von Primäreinheiten nach dem Modell „mit Zurücklegen“.



### 5.3.4 Schichtung der Beobachtungseinheiten

Je nach Problemstellung ist es sinnvoll, eine geschichtete Stichprobe von Primäreinheiten zu ziehen (speziell bezüglich der Beobachtungsorte). Im Hinblick auf die anschließenden Schätzungen müssen in diesem Fall natürlich entsprechende Eckwerte<sup>28</sup> der Erhebungsgesamtheit bekannt sein.

Würde man z. B. im Rahmen einer bundesweiten Untersuchung zum Gurtragen Beobachtungseinheiten nach dem obigen Verfahren auswählen, so lägen gemäß Tabelle 1 im Durchschnitt nur 2 % aller Beobachtungsorte an Autobahnen. Hier könnte es sinnvoll sein, Beobachtungsorte im Hinblick auf die Straßenkategorie disproportional auszuwählen, speziell dann, wenn die Gurtragequoten bezogen auf die Straßenkategorien stark variieren.

Ein weiterer für die praktische Durchführung der Erhebung bedeutsamer Vorteil einer solchen Schichtung der Beobachtungsorte liegt darin, dass die Länge der einzelnen Beobachtungszeiträume je nach Schicht unterschiedlich festgelegt werden kann.

Straßenkategorie	Streckenanteil	
	in 1.000 km	in %
Autobahnen	12,5	2,0
Bundesstraßen	40,4	6,3
Landesstraßen	86,6	13,4
Kreisstraßen	91,6	14,2
Gemeindestraßen	413,0	64,1
Summe	644,1	100,0
Quelle: ADAC, 2009, S. 4		

**Tab. 2:** Anteile einzelner Straßenkategorien am gesamten Straßennetz der Bundesrepublik Deutschland 2007

<sup>28</sup> Je Schicht muss die Anzahl der Beobachtungseinheiten bekannt sein.

<sup>29</sup> Werden die Primär- bzw. Beobachtungseinheiten mit gleichen Wahrscheinlichkeiten ausgewählt, so ist es z. B. nicht richtig, wie bei den „Kontinuierlichen Erhebungen“ die Zahl der pro Beobachtungseinheit zu erfassenden Fahrzeuge vorzugeben (z. B. 100 Pkw/Stunde). Vielmehr sind dann entweder alle Fahrzeuge während der Beobachtungszeit zu erfassen oder es ist innerhalb einer Beobachtungseinheit ein fester Auswahlatz zu verwenden. Eine „selbstgewichtende“ Stichprobe von Vorbeifahrten erhält man dann, wenn bei jeder Beobachtungseinheit derselbe Auswahlatz (z. B. Erfassung jedes zweiten Fahrzeugs) verwendet wird.

### 5.4 Sekundärauswahl: Bestimmung der zu erfassenden Vorbeifahrten

Sind die Primäreinheiten ausgewählt, ist zu überprüfen bzw. einzuschätzen, ob bei allen Beobachtungseinheiten eine Vollerhebung der relevanten Vorbeifahrten möglich ist. Dies hängt natürlich sowohl von der Komplexität des zu untersuchenden Verhaltensmerkmals als auch von der verwendeten Technik zur Beobachtung des Merkmals ab.

Dabei ist zu beachten, dass alle Fahrstreifen am Beobachtungsort während der Beobachtungszeit zu beobachten sind. Ist eine Beobachtung aller Vorbeifahrten nicht möglich, muss eine Schrittweite  $k$  derart bestimmt werden, dass während des Zeitraums jede  $k$ -te Vorbeifahrt beobachtet werden kann. In jedem Fall sind alle Vorbeifahrten zu zählen.

Zum Beispiel wird es bei Untersuchungen zum Gurtragen nicht möglich sein, alle Vorbeifahrten zu beobachten, wenn die Beobachtung ohne technische Hilfsmittel (z. B. Videoaufzeichnung) von Personen vor Ort durchgeführt wird und Beobachtungseinheiten an Bundesautobahnen in Zeiten hohen Verkehrsaufkommens liegen. In diesen Fällen müssen Schrittweiten festgelegt werden, die theoretisch für die einzelnen ausgewählten Primäreinheiten individuell bestimmt werden können. Zur Bestimmung der Schrittweite sind Informationen über die Verkehrsstärke in der jeweiligen Beobachtungseinheit notwendig.

Ist eine Schrittweite für eine Beobachtungseinheit festgelegt, muss diese in jedem Fall beibehalten werden – auch wenn es im Laufe des Beobachtungszeitraums möglich wäre, mehr Vorbeifahrten zu beobachten.<sup>29</sup>

Man könnte auch daran denken, bei der Sekundärauswahl einen „Zeittakt“ von z. B.  $s$  Sekunden festzulegen und immer das jeweils erste Fahrzeug zu erfassen, welches nach Ablauf von  $s$  Sekunden den Beobachtungsort passiert. Da dieses Auswahlverfahren bei Schwankungen der Verkehrsstärke während des Beobachtungszeitintervalls auf der Ebene der Vorbeifahrten zu variierenden Auswahlwahrscheinlichkeiten führt (Fahrzeuge in Zeitintervallen mit hoher Verkehrsstärke haben eine geringere Auswahlchance), ist es generell nicht zu empfehlen.

## 5.5 Bemerkungen zu den erforderlichen Stichprobenumfängen

Bei der Stichprobenplanung kommt der Festlegung des Stichprobenumfangs besondere Bedeutung zu. Die Zahl der auszuwählenden Beobachtungseinheiten und der zu beobachtenden Untersuchungseinheiten hängt vom Auswahlverfahren sowie von den Anforderungen ab, die an die Genauigkeit der Schätzungen gestellt werden.

Eine wichtige Rolle spielen dabei auch die vor Durchführung der Erhebung bereits vorhandenen Informationen über den Erhebungsgegenstand, also z. B. die am Beobachtungsort vorliegende Verkehrsstärke und deren Tagesganglinie sowie die Gurtragequote. Hier ist die Situation sehr günstig, da ja die jährlichen Datenbestände aus den „Kontinuierlichen Erhebungen“ der BASt für Zwecke der Stichprobenplanung ausgewertet werden können.

Allgemein ist bei gegebenem Stichprobenumfang der Primäreinheiten die Schätzgenauigkeit umso besser, je kleiner die Unterschiede hinsichtlich der interessierenden Kennzahl zwischen den Klumpen sind. Soll z. B. ein Anteilswert  $Q$  geschätzt werden, so fallen die Konfidenzintervalle dann klein aus, wenn die jeweiligen Anteile der Klumpen ähnlich sind. Falls der Anteil stark von der Straßenkategorie und/oder der zeitlichen Lage der Beobachtungseinheiten abhängt, sollten Schichten derart gebildet werden, dass die jeweiligen Anteile zwischen den Beobachtungseinheiten einer Schicht wenig variieren. Wie sich die Konfidenzintervalle im Falle von Klumpenstichproben konkret berechnen, wird in Kapitel 6.2 besprochen.

Was den Mindeststichprobenumfang in Bezug auf die Zahl der zu ziehenden Erhebungseinheiten (die ja nach dem in Kapitel 5.3 beschriebenen Verfahren gleich der Zahl der Beobachtungsorte ist) anbelangt, so sind pauschale Vorgaben kaum möglich, da der Umfang neben der gewünschten Genauigkeit von der jeweiligen Streuung des Untersuchungsmerkmals zwischen den Erhebungseinheiten abhängt. Aufgrund der Tatsache, dass es sich hier um ein Klumpenauswahlverfahren handelt, sind für entsprechende Berechnungen relativ viele Vorinformationen erforderlich.

Nicht alle in der Literatur zu findenden Hinweise bezüglich des erforderlichen Stichprobenumfangs sind hilfreich. So empfehlen HAKKERT & GITELMAN (2007, S. 82) für Erhebungen zum Tagesfahr-

licht die Auswahl von 10 bis 30 Beobachtungsorten pro Straßenkategorie. Allerdings liegt diesen Empfehlungen die – tatsächlich ja nicht zutreffende – Vorstellung einer einfachen Zufallsauswahl aus der Grundgesamtheit der Vorbeifahrten zugrunde.

Benutzt man die bundesdeutschen Ergebnisse aus den Erhebungen zur Lichteinschaltquote (Landstraße; Winterperiode 2007/2008) als Basis und stellt man sich dabei auf den Standpunkt, dass diese aus einer Zufallsauswahl von Beobachtungsorten und -zeiten resultieren – was faktisch nicht der Fall ist –, so lassen sich auf der Grundlage der sich daraus ergebenden Streuungen zwischen den Erhebungseinheiten Konfidenzintervalle für die Lichteinschaltquote für verschiedene Stichprobenumfänge unter Berücksichtigung des Auswahlverfahrens berechnen (siehe die entsprechenden Formeln in Kapitel 6.2.1; Untersuchungsebene „Fahrzeug-Vorbeifahrt“).

Insgesamt lag die in der Winterperiode 2007/2008 gemessene Lichteinschaltquote bei 49,4 % (bei 237 Erhebungseinheiten, also Kombinationen aus Erhebungsort und -zeit). Da für jede Erhebungseinheit die Zahl der Vorbeifahrten insgesamt und mit Licht vorliegt, können die für eine Berechnung des Standardfehlers der Lichteinschaltquote notwendigen Streuungsmaße berechnet werden. Mit diesen Daten ist es im Sinne einer Sensitivitätsbetrachtung möglich, nicht nur für die tatsächliche Stichprobengröße ( $n = 237$  Erhebungseinheiten), sondern auch für hypothetische Anzahlen ausgewählter Erhebungseinheiten das 95%-Konfidenzintervall für die Lichteinschaltquote (Anteil der mit Tagesfahrlicht zurückgelegten Fahrzeugkilometer) zu berechnen.

Tabelle 3 zeigt, dass über 100 Kombinationen von Orten und Zeitintervallen (Erhebungseinheiten) ausgewählt werden müssten, um bezüglich der Schätzgenauigkeit in den Bereich von  $\pm 5$  Prozentpunkten zu kommen. Für den Fall  $n = 237$ , also die tatsächliche Zahl der Erhebungseinheiten, lauten die Grenzen des Konfidenzintervalls 45,79 und 53,03 %.

Insgesamt wurden an diesen  $n = 237$  Erhebungseinheiten  $x = 60.148$  Fahrzeuge beobachtet. Würde man statt der oben dargestellten korrekten Berechnungsweise – also unter Berücksichtigung der einstufigen Klumpenauswahl – das Konfidenzintervall unter der Annahme bestimmen, dass diese Fahrzeuge uneingeschränkt zufällig aus der Grundgesamtheit aller Vorbeifahrten ausgewählt wurden, so

Anzahl Erhebungseinheiten <sup>1</sup>	95%-Konfidenzintervall	
	Untere Grenze	Obere Grenze
30	0,3924	0,5957
50	0,4153	0,5728
100	0,4384	0,5498
200	0,4547	0,5335
237	0,4579	0,5303
300	0,4619	0,5262
400	0,4662	0,5219
500	0,4692	0,5190
600	0,4713	0,5168
700	0,4730	0,5151
800	0,4744	0,5138
900	0,4755	0,5126
1.000	0,4765	0,5117
1.200	0,4780	0,5102
1.400	0,4792	0,5090
1.500	0,4797	0,5085
2.000	0,4816	0,5065

1 Erhebungseinheiten = Kombinationen aus Beobachtungsorten und -zeiten

**Tab. 3:** 95%-Konfidenzintervalle für die Lichteinschaltquote (Winterperiode 2007/2008) für verschiedene Stichprobenumfänge

ergäbe sich fälschlicherweise ein sehr viel engeres Konfidenzintervall (49,0 bis 49,8 %). Wie man sieht, würden nicht einmal 2.000 (!) Erhebungsorte und -zeiten ausreichen, um ein derart enges Konfidenzintervall zu erhalten. Die Vernachlässigung des Auswahlverfahrens bei der Bestimmung von Konfidenzintervallen führt hier zu einer maßlosen Überschätzung der tatsächlich erzielten bzw. erzielbaren Erhebungsgenauigkeit.

Allerdings liegt gerade im Bereich Tagesfahrlicht eine relativ große Streuung vor,<sup>30</sup> für Beobachtungen zur Gurtnutzung z. B. kann von sehr viel kleineren Streuungen und damit von geringeren Mindeststichprobenumfängen ausgegangen werden.

<sup>30</sup> Zwischen den Erhebungseinheiten schwankt die Lichteinschaltquote zwischen 2,4 und 94,6 %! Maßgeblich für den Standardfehler ist allerdings nicht der Anteil, sondern die absolute Anzahl der Vorbeifahrten mit Licht (vgl. Kapitel 6.2.1).

Dies lässt sich anhand von Daten aus den Erhebungen zur Gurtnutzung der BAST zeigen. Für Lkw-Fahrer (Sattelkraftfahrzeuge) lag 2009 die Gurtnutzungsquote auf Landstraßen bei rund 73,1 %. Dabei wurden  $x = 561$  Vorbeifahrten beobachtet, die Zahl der Erhebungseinheiten betrug  $n = 18$  (6 Gebiete zu jeweils 3 Zeitintervallen; vgl. Kapitel 2.1). Aus den entsprechenden Daten resultiert ein 95%-Konfidenzintervall mit den Grenzen 0,6751 und 0,7866 (in Kapitel 6.2.1 kann die konkrete Berechnung dieses Konfidenzintervalls anhand der Originaldaten nachvollzogen werden). Setzt man nun bei gegebener Streuung in diesem Beispiel statt  $n = 18$  z. B.  $n = 30$  ein, so resultiert – ceteris paribus – ein Konfidenzintervall von 0,6877 bis 0,7740, für  $n = 50$  lauten die Grenzen 0,6974 und 0,7643. Für das vorliegende Beispiel der Gurtnutzung kommt man bezüglich der Schätzgenauigkeit somit schon bei weniger als 30 Beobachtungseinheiten (Ort/Zeit-Kombinationen) in den Bereich von  $\pm 5$  Prozentpunkten, obwohl die durchschnittliche Zahl der beobachteten Sekundäreinheiten (Fahrzeug-Vorbeifahrten) pro Primäreinheit mit rund 31,2 im Vergleich zu den oben vorgestellten Analysen zum Tagesfahrlicht (253,8) sehr klein ist. Da die zu schätzende Kennzahl eine Quote ist, gilt generell Folgendes: Je mehr Fahrzeuge im Mittel pro Primäreinheit vorbeifahren, desto weniger Primäreinheiten sind – unter sonst gleichen Bedingungen – notwendig, um dieselbe Genauigkeit zu erzielen.

Im Zusammenhang mit Erhebungen zur Gurtnutzung an Kreuzungen weisen CRUMP et al. (2005) Mindestanzahlen von Erhebungseinheiten (Ort/Zeit-Kombinationen) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen – hier der über alle potenzielle Erhebungseinheiten gemittelten Zahl der Fahrzeuge pro Stunde – aus (siehe Tabelle 1 in Kapitel 2.6).

Anzumerken ist noch, dass, wenn Ergebnisse für Subgruppen von Erhebungseinheiten (z. B. Straßenkategorien) mit derselben Genauigkeit wie der Gesamtwert geschätzt werden sollen, in der Regel ein höherer Gesamtstichprobenumfang notwendig ist. Dies hängt allerdings davon ab, wie homogen die einzelnen Gruppen hinsichtlich des Untersuchungsmerkmals sind. Je homogener, d. h. je kleiner die Streuung des Untersuchungsmerkmals innerhalb der Gruppen (z. B. Streuung der Zahl der Vorbeifahrten mit Licht zwischen den Ort/Zeit-Kombinationen einer bestimmten Straßenkategorie), desto geringer ist die Zahl an notwendigen Beobachtungseinheiten.

## 6 Hochrechnung von Verhaltensbeobachtungen im fließenden Verkehr

Die Notwendigkeit der Entwicklung von Schätzverfahren, die auf das Erhebungsverfahren abgestimmt sind und die Besonderheiten des Untersuchungsgegenstands bzw. der zu schätzenden Kennzahlen berücksichtigen, ist bereits an verschiedenen Stellen angesprochen worden. Im vorliegenden Kapitel wird die Schätzung von Kennzahlen des Verkehrsverhaltens auf der Basis von Daten aus Beobachtungen im fließenden Verkehr für verschiedene Auswahlverfahren dargestellt.

### 6.1 Schätzverfahren

Im Folgenden werden die Schätzer für Mittelwerte<sup>31</sup> von Verhaltensmerkmalen vorgestellt, abhängig davon, ob ein einstufiges oder zweistufiges Auswahlverfahren vorliegt. Weiter wird danach unterschieden, ob das Untersuchungsmerkmal auf Ebene der Fahrzeug-Vorbeifahrten oder der Insassen-Vorbeifahrten definiert ist.

#### 6.1.1 Mittelwertschätzung bei einstufiger Klumpenauswahl

##### Untersuchungsebene „Fahrzeug-Vorbeifahrt“

Seien

$x_i$  die Anzahl der Vorbeifahrten der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit,

$y_{ij}$  die Ausprägung des Untersuchungsmerkmals der  $j$ -ten Vorbeifahrt in der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit,

$y_i = \sum_{j=1}^{x_i} y_{ij}$  die Merkmalssumme der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit,

$n$  die Anzahl der ausgewählten Beobachtungseinheiten,

dann ist die Verhältniszahl

$$r_{K,F} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i}$$

ein asymptotisch erwartungstreuer Schätzer für den Mittelwert eines auf Fahrzeug-Vorbeifahrten bezogenen Verhaltensmerkmals.<sup>32</sup>

Falls das Untersuchungsmerkmal durch ein 0/1-Merkmal gegeben ist, entspricht  $y_i$  der Anzahl der positiven Beobachtungen (also aller Fahrzeug-Vorbeifahrten, bei denen das interessierende Verhalten beobachtet werden konnte) der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit.

##### Untersuchungsebene „Insassen-Vorbeifahrt“

Seien

$x_i$  die Anzahl der Vorbeifahrten der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit,

$z_{ij}$  die Anzahl der Insassen der  $j$ -ten Vorbeifahrt in der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit,

$z_i = \sum_{j=1}^{x_i} z_{ij}$  die Anzahl aller Insassen der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit,

$y_{ijk}$  die Ausprägung des Untersuchungsmerkmals des  $k$ -ten Insassen der  $j$ -ten Vorbeifahrt in der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit,

$$y_i = \sum_{j=1}^{x_i} \sum_{k=1}^{z_{ij}} y_{ijk},$$

$n$  die Anzahl der ausgewählten Beobachtungseinheiten,

dann ist die Verhältniszahl

$$r_{K,I} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n z_i}$$

ein asymptotisch erwartungstreuer Schätzer für den Mittelwert eines auf Insassen-Vorbeifahrten bezogenen Verhaltensmerkmals.

<sup>31</sup> Diese Betrachtung schließt Anteilswerte wie die Lichteinschaltquote oder die Gurtragequote als Spezialfälle ein.

<sup>32</sup> In der Stichprobentheorie ist es gebräuchlich, Verhältniszahlen mit dem Symbol  $r$  („ratio“) zu bezeichnen. Die Subskripte  $K$  und  $F$  stehen für das Auswahlverfahren (einstufige) Klumpenauswahl bzw. die Untersuchungsebene Fahrzeug-Vorbeifahrt.

### 6.1.2 Mittelwertschätzung bei zweistufiger Auswahl

#### Untersuchungsebene „Fahrzeug-Vorbeifahrt“

Seien

$x_i$  die Anzahl der Vorbeifahrten der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit,

$m_i$  die Anzahl der im Hinblick auf das Untersuchungsmerkmal beobachteten Vorbeifahrten der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit,

$y_{ij}$  die Ausprägung des Untersuchungsmerkmals der  $j$ -ten ausgewählten Vorbeifahrt in der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit,

$n$  die Anzahl der ausgewählten Beobachtungseinheiten.

Bei zweistufiger Auswahl ist

$$r_{Z,l} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} y_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_i}$$

ein asymptotisch erwartungstreuer Schätzer für den Mittelwert eines auf Fahrzeug-Vorbeifahrten bezogenen Verhaltensmerkmals.

Falls in der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit jede  $k_i$ -te Vorbeifahrt für die Merkmalerfassung ausgewählt wurde, gilt idealtypisch

$$k_i = \frac{x_i}{m_i}.$$

#### Untersuchungsebene „Insassen-Vorbeifahrt“

Seien

$x_i$  die Anzahl der Vorbeifahrten der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit,

$m_i$  die Anzahl der im Hinblick auf das Untersuchungsmerkmal beobachteten Vorbeifahrten der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit,

$z_{ij}$  die Anzahl der Insassen der  $j$ -ten ausgewählten Vorbeifahrt in der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit,

$y_{ijk}$  die Ausprägung des Untersuchungsmerkmals des  $k$ -ten Insassen der  $j$ -ten ausgewählten Vorbeifahrt in der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit,

$$y_{ij} = \sum_{k=1}^{z_{ij}} y_{ijk},$$

$n$  die Anzahl der ausgewählten Beobachtungseinheiten,

dann ist

$$r_{Z,l} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} y_{ij}}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} z_{ij}}$$

ein asymptotisch erwartungstreuer Schätzer für den Mittelwert eines auf Insassen-Vorbeifahrten bezogenen Verhaltensmerkmals.

### 6.1.3 Vorgehen im geschichteten Fall

Hier müssen zwei Fälle unterschieden werden:

- I. Innerhalb aller Schichten erfolgt eine einstufige Klumpenauswahl.
- II. Innerhalb der (bzw. einiger) Schichten erfolgt eine zweistufige Auswahl.

#### Fall I: Einstufige Klumpenauswahl innerhalb der Schichten

Der Mittelwertschätzer ist in diesem Fall gegeben durch einen kombinierten Verhältnisschätzer.

#### Untersuchungsebene „Fahrzeug-Vorbeifahrt“

Seien

$x_i(h)$  die Anzahl der Vorbeifahrten der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit der Schicht  $h$ ,

$y_{ij}(h)$  die Ausprägung des Untersuchungsmerkmals der  $j$ -ten Vorbeifahrt in der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit in Schicht  $h$ ,

$$y_i(h) = \sum_{j=1}^{x_i(h)} y_{ij}(h),$$

$N(h)$  die Anzahl der Beobachtungseinheiten in Schicht  $h$  insgesamt,

$n(h)$  die Anzahl ausgewählter Beobachtungseinheiten in Schicht  $h$ ,

dann gestaltet sich der resultierende Schätzer (kombinierter Verhältnisschätzer) wie folgt:

$$r_{K,G,F} = \frac{\sum_{h=1}^H \frac{N(h)}{n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} y_i(h)}{\sum_{h=1}^H \frac{N(h)}{n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} x_i(h)}.$$

### Untersuchungsebene „Insassen-Vorbeifahrt“

Seien

$x_i(h)$  □ die Anzahl der Vorbeifahrten der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit der Schicht  $h$ ,

$z_{ij}(h)$  □ die Anzahl der Insassen der  $j$ -ten Vorbeifahrt in der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit der Schicht  $h$ ,

$z_i(h)$  □ die Anzahl aller Insassen der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit in Schicht  $h$ ,

$y_{ijk}(h)$  □ die Ausprägung des Untersuchungsmerkmals des  $k$ -ten Insassen der  $j$ -ten Vorbeifahrt in der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit der Schicht  $h$ ,

$$y_i(h) \square = \sum_{j=1}^{x_i(h)} \sum_{k=1}^{z_{ij}(h)} y_{ijk}(h),$$

$N(h)$  □ die Anzahl der Beobachtungseinheiten in Schicht  $h$  insgesamt,

$m(h)$  □ die Anzahl ausgewählter Beobachtungseinheiten in Schicht  $h$ ,

dann gestaltet sich der resultierende Schätzer wie folgt:

$$r_{K,G,I} = \frac{\sum_{h=1}^H \frac{N(h)}{n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} y_i(h)}{\sum_{h=1}^H \frac{N(h)}{n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} z_i(h)}.$$

### Fall II: Zweistufige Auswahl innerhalb der Schichten

Auch hier ist der Mittelwertschätzer durch einen kombinierten Verhältnisschätzer gegeben, wobei innerhalb der Schichten zweistufig geschätzt wird.

### Untersuchungsebene „Fahrzeug-Vorbeifahrt“

Seien

$x_i(h)$  □ die Anzahl der Vorbeifahrten der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit der Schicht  $h$ ,

$m_i(h)$  □ die Anzahl der im Hinblick auf das Untersuchungsmerkmal beobachteten Vorbeifahrten der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit der Schicht  $h$ ,

$y_{ij}(h)$  □ die Ausprägung des Untersuchungsmerkmals der  $j$ -ten ausgewählten Vorbeifahrt in der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit in Schicht  $h$ ,

$N(h)$  □ die Anzahl der Beobachtungseinheiten in Schicht  $h$  insgesamt,

$n(h)$  □ die Anzahl ausgewählter Beobachtungseinheiten in Schicht  $h$ ,

dann gestaltet sich der resultierende Schätzer wie folgt:

$$r_{Z,G,F} = \frac{\sum_{h=1}^H \frac{N(h)}{n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} \frac{x_i(h)}{m_i(h)} \sum_{j=1}^{m_i(h)} y_{ij}(h)}{\sum_{h=1}^H \frac{N(h)}{n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} x_i(h)},$$

falls innerhalb gewisser Schichten eine einstufige Klumpenauswahl erfolgt, ist  $m_i(h) = x_i(h)$  für alle

$i = 1, \dots, n(h)$ .

### Untersuchungsebene „Insassen-Vorbeifahrt“

Seien

$x_i(h)$  □ die Anzahl der Vorbeifahrten der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit der Schicht  $h$ ,

$m_i(h)$  □ die Anzahl der im Hinblick auf das Untersuchungsmerkmal beobachteten Vorbeifahrten der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit der Schicht  $h$ ,

$z_{ij}(h)$  □ die Anzahl der Insassen der  $j$ -ten ausgewählten Vorbeifahrt in der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit der Schicht  $h$ ,

$y_{ijk}(h)$  □ die Ausprägung des Untersuchungsmerkmals des  $k$ -ten Insassen der  $j$ -ten ausgewählten Vorbeifahrt in der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit der Schicht  $h$ ,

$$y_{ij}(h) \square = \sum_{k=1}^{z_{ij}(h)} y_{ijk}(h),$$

$N(h)$  □ die Anzahl der Beobachtungseinheiten in Schicht  $h$  insgesamt,

$n(h)$  die Anzahl ausgewählter Beobachtungseinheiten in Schicht  $h$ ,

dann gestaltet sich der resultierende Schätzer wie folgt:

$$r_{z,G,I} = \frac{\sum_{h=1}^H \frac{N(h)}{n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} \frac{x_i(h)}{m_i(h)} \sum_{j=1}^{m_i(h)} y_{ij}(h)}{\sum_{h=1}^H \frac{N(h)}{n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} \frac{x_i(h)}{m_i(h)} \sum_{j=1}^{m_i(h)} z_{ij}(h)},$$

falls innerhalb gewisser Schichten eine einstufige Klumpenauswahl erfolgt, ist  $m_i(h) = x_i(h)$  für alle  $i = 1, \dots, n(h)$ .

## 6.2 Genauigkeitsbeurteilung

Bei zufälliger Auswahl der Beobachtungseinheiten wird im Gegensatz zur bewussten Auswahl auch die Berechnung von Konfidenzintervallen für Gurttragequoten, Lichteinschaltquoten u. Ä. möglich. Dies erscheint vor allem im Hinblick auf die Diagnose zeitlicher Veränderungen im Sicherungsverhalten und die Beurteilung der Wirksamkeit von Maßnahmen wichtig.

### 6.2.1 Varianzschätzung bei einstufiger Klumpenauswahl

#### Untersuchungsebene „Fahrzeug-Vorbeifahrt“

Im Falle einer einstufigen Klumpenauswahl lässt sich die Varianz der Schätzfunktion

$$r_{K,F} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i}$$

schätzen (vgl. zu all dem z. B. COCHRAN, 1977). Der Varianzschätzer ist gegeben durch

$$V(r_{K,F}) = \frac{1}{n\bar{x}^2} (s_{yy}^2 - 2\frac{\bar{y}}{\bar{x}} s_{xy}^2 + (\frac{\bar{y}}{\bar{x}})^2 s_{xx}^2)$$

mit

$n$  Anzahl ausgewählter Primäreinheiten,

$x_i$  Anzahl der Vorbeifahrten der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit (= Primäreinheit),

$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$  Stichprobenmittel der Vorbeifahrten pro Primäreinheit,

$$y_i = \sum_{j=1}^{x_i} y_{ij},$$

$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$  Stichprobenmittel des Untersuchungsmerkmals pro Primäreinheit,

$s_{yy}^2$  Stichprobenvarianz des Untersuchungsmerkmals pro Primäreinheit,

$s_{xy}^2$  Stichprobenkovarianz des Untersuchungsmerkmals und der Vorbeifahrten pro Primäreinheit,

$s_{xx}^2$  Stichprobenvarianz der Vorbeifahrten pro Primäreinheit.

Es ergibt sich folgendes Konfidenzintervall zum Niveau  $\alpha$  für den geschätzten Mittelwert:

$$\frac{\bar{y}}{\bar{x}} \pm \lambda_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{n\bar{x}^2} (s_{yy}^2 - 2\frac{\bar{y}}{\bar{x}} s_{xy}^2 + (\frac{\bar{y}}{\bar{x}})^2 s_{xx}^2)}$$

mit

$\lambda_{1-\alpha/2}$  Quantil der Standardnormalverteilung.

Auf der Basis von Daten aus den Erhebungen zur Gurtnutzung der BAST soll dies anhand eines konkreten Zahlenbeispiels illustriert werden. In Tabelle 4 sind die (ungewichteten) Ergebnisse zur Gurtnutzung von Lkw-Fahrern (Sattelkraftfahrzeuge; Landstraße) aus dem Jahr 2009 dargestellt.

In diesem Beispiel sind:

$$n = 18,$$

$$\bar{x} = 31,1667,$$

$$\bar{y} = 22,7778; \text{ die Gurtanlagequote beträgt somit } 73,08\% \text{ (} 22,7778/31,1667 = 0,7308 \text{),}$$

$$s_{yy}^2 = 65,284,$$

$$s_{xy}^2 = 65,537 \text{ und}$$

$$s_{xx}^2 = 83,5833.$$

Gemäß der oben dargestellten Formel zur Schätzung der Varianz des Schätzers bei einstufiger Klumpenauswahl ergibt sich im vorliegenden Beispiel der folgende Schätzwert  $V(r_{K,F})$ :

$$\frac{(65,284 - 2 \cdot 0,73084 \cdot 65,537 + 0,73084^2 \cdot 83,5833)}{18 \cdot 31,1667^2}$$

Ort	Datum	Intervall	Erhebungseinheit Nr.	Fahrer in Sattelkraftfzg. Landstraße Gesamt (x)	Fahrer in Sattelkraftfzg. Landstraße mit Gurt (y)
Gebiet 1	Dienstag 16.6.2009	08.00-09.00	1	39	21
		09.00-10.00	2	38	24
		10.00-11.00	3	29	19
Gebiet 2	Dienstag 23.6.2009	08.00-09.00	4	37	28
		09.00-10.00	5	35	29
		10.00-11.00	6	36	30
Gebiet 3	Dienstag 23.6.2009	08.00-09.00	7	13	8
		09.00-10.00	8	15	10
		10.00-11.00	9	17	14
Gebiet 4	Dienstag 22.9.2009	08.00-09.00	10	25	17
		09.00-10.00	11	28	27
		10.00-11.00	12	27	23
Gebiet 5	Dienstag 22.9.2009	08.00-09.00	13	34	22
		09.00-10.00	14	39	29
		10.00-11.00	15	49	43
Gebiet 6	Dienstag 22.9.2009	08.00-09.00	16	27	15
		09.00-10.00	17	37	24
		10.00-11.00	18	36	27

Quelle: is-v, Karlsruhe

**Tab. 4:** Ergebnisse der Erhebung zur Gurnutzung von Lkw-Fahrern (Sattelkraftfahrzeuge) auf Landstraßen 2009

= 0,0008084 (hier muss die Annahme getroffen werden, dass die Ergebnisse aus einer Zufallsauswahl von Beobachtungsorten und -zeiten stammen).

Die Grenzen des 95%-Konfidenzintervalls für die Gurtanlagequote berechnen sich dann wie folgt:

- untere Grenze:  $0,73084 - 1,96 \cdot \sqrt{0,0008084} = 0,6751$
- obere Grenze:  $0,73084 + 1,96 \cdot \sqrt{0,0008084} = 0,7866$

#### Untersuchungsebene „Insassen-Vorbeifahrt“

Die Varianz des Mittelwertschätzers

$$r_{K,l} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n z_i}$$

wird geschätzt durch

$$V(r_{K,l}) = \frac{1}{n\bar{z}^2} (s_{yy}^2 - 2\frac{\bar{y}}{\bar{z}} s_{zy}^2 + (\frac{\bar{y}}{\bar{z}})^2 s_{zz}^2)$$

mit

$n$  Anzahl ausgewählter Primäreinheiten,

$x_i$  Anzahl der Vorbeifahrten der  $i$ -ten ausgewählten Beobachtungseinheit,

$$z_i = \sum_{j=1}^{x_i} z_{ij}$$

$$\bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i \text{ Stichprobenmittel der Besetzung}$$

(Anzahl Insassen) pro Primäreinheit,

$$y_i = \sum_{j=1}^{x_i} \sum_{k=1}^{z_{ij}} y_{ijk},$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \text{ Stichprobenmittel des Untersu-}$$

chungsmerkmals pro Primäreinheit,

$s_{yy}^2$  Stichprobenvarianz des Untersuchungsmerkmals pro Primäreinheit,



$s_{zy}^2$  Stichprobenkovarianz des Untersuchungsmerkmals pro Primäreinheit,

$s_{zz}^2$  Stichprobenvarianz des Untersuchungsmerkmals und der Besetzung pro Primäreinheit.

Es ergibt sich folgendes Konfidenzintervall zum Niveau  $\alpha$  für den Mittelwert:

$$\frac{\bar{y}}{\bar{z}} \pm \lambda_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{n\bar{z}^2} (s_{yy}^2 - 2\frac{\bar{y}}{\bar{z}} s_{zy}^2 + (\frac{\bar{y}}{\bar{z}})^2 s_{zz}^2)}$$

mit

$\lambda_{1-\alpha/2}$  Quantil der Standardnormalverteilung.

### 6.2.2 Varianzschätzung bei zweistufiger Auswahl

Im Falle einer zweistufigen Auswahl (Primäreinheiten: Kombinationen von Beobachtungsorten und Beobachtungszeitintervallen; Sekundäreinheiten: Vorbeifahrten) zerlegt sich die Varianz des zugehörigen Mittelwertschätzers in die Varianz zwischen den Primäreinheiten und die Varianz innerhalb der Primäreinheiten. Da der zweite Varianzanteil mit dem Kehrwert der Anzahl der Primäreinheiten in der Erhebungsgesamtheit gewichtet wird, kann er aufgrund der hohen Anzahl von Primäreinheiten (Beobachtungseinheiten) vernachlässigt werden.

#### Untersuchungsebene „Fahrzeug-Vorbeifahrt“

Mit

$$y_i \hat{=} \frac{x_i}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} y_{ij}$$

als Schätzwert für den Merkmalswert der  $i$ -ten ausgewählten Primäreinheit kann die Formel der einstufigen Klumpenauswahl verwendet werden.

#### Untersuchungsebene „Insassen-Vorbeifahrt“

Mit

$$y_i \hat{=} \frac{x_i}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{z_{ij}} y_{ijk}$$

als Schätzwert für den Merkmalswert der  $i$ -ten ausgewählten Primäreinheit und

$$z_i \hat{=} \frac{x_i}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} z_{ij}$$

als Schätzwert für die Zahl aller Insassen-Vorbeifahrten der  $i$ -ten ausgewählten Primäreinheit kann die Formel der einstufigen Klumpenauswahl verwendet werden.

### 6.2.3 Vorgehen im geschichteten Fall

#### Untersuchungsebene „Fahrzeug-Vorbeifahrt“

Falls innerhalb aller Schichten eine einstufige Klumpenauswahl erfolgte, lässt sich die Varianz des kombinierten Verhältnisschätzers wie folgt asymptotisch erwartungstreu schätzen:

$$\begin{aligned} V(r_{K,G,F}) &= \left( \frac{\sum_{h=1}^H N(h)}{\sum_{h=1}^H N(h)\bar{x}(h)} \right)^2 \sum_{h=1}^H \left( \frac{N(h)}{\sum_{k=1}^H N(k)} \right)^2 \frac{1}{n(h)} \cdot \left[ s_{yy}(h) + \left( \frac{\sum_{h=1}^H N(h)\bar{y}(h)}{\sum_{h=1}^H N(h)\bar{x}(h)} \right)^2 s_{xx}(h) - 2 \frac{\sum_{h=1}^H N(h)\bar{y}(h)}{\sum_{h=1}^H N(h)\bar{x}(h)} s_{yx}(h) \right] \\ &= \left( \frac{1}{\sum_{h=1}^H N(h)\bar{x}(h)} \right)^2 \sum_{h=1}^H \frac{N^2(h)}{n(h)} \left[ s_{yy}(h) + \left( \frac{\sum_{h=1}^H N(h)\bar{y}(h)}{\sum_{h=1}^H N(h)\bar{x}(h)} \right)^2 s_{xx}(h) - 2 \frac{\sum_{h=1}^H N(h)\bar{y}(h)}{\sum_{h=1}^H N(h)\bar{x}(h)} s_{yx}(h) \right] \end{aligned}$$

wobei

$$s_{yx}(h) = \frac{1}{n(h)-1} \sum_{i=1}^{n(h)} (y_i(h) - \bar{y}(h))(x_i(h) - \bar{x}(h))$$

die Stichprobenkovarianz bezeichnet.

Falls innerhalb der (bzw. einiger) Schichten eine zweistufige Auswahl erfolgte, lässt sich wie im nichtgeschichteten zweistufigen Fall der Anteil der Varianz innerhalb der Primäreinheiten der jeweiligen Schichten vernachlässigen. Insofern kommt auch in diesem Fall die obige Formel zum Einsatz mit

$$y_i(h) \hat{=} \frac{x_i(h)}{m_i(h)} \sum_{j=1}^{m_i(h)} \sum_{k=1}^{z_{ij}(h)} y_{ijk}(h)$$

#### Untersuchungsebene „Insassen-Vorbeifahrt“

Falls innerhalb aller Schichten eine einstufige Klumpenauswahl erfolgte, lässt sich die Varianz des kombinierten Verhältnisschätzers wie folgt asymptotisch erwartungstreu schätzen:

$$V(r_{K,G,I}) = \left( \frac{1}{\sum_{h=1}^H N(h)\bar{z}(h)} \right)^2 \sum_{h=1}^H \frac{N^2(h)}{n(h)} \left[ s_{yy}(h) + \left( \frac{\sum_{h=1}^H N(h)\bar{y}(h)}{\sum_{h=1}^H N(h)\bar{z}(h)} \right)^2 s_{zz}(h) - 2 \frac{\sum_{h=1}^H N(h)\bar{y}(h)}{\sum_{h=1}^H N(h)\bar{z}(h)} s_{yz}(h) \right]$$

wobei

$$s_{yz}(h) = \frac{1}{n(h)-1} \sum_{i=1}^{n(h)} (y_i(h) - \bar{y}(h))(z_i(h) - \bar{z}(h))$$

die Stichprobenkovarianz bezeichnet.

Falls innerhalb der (bzw. einiger) Schichten eine zweistufige Auswahl erfolgte, lässt sich auch hier wie im nicht geschichteten zweistufigen Fall der Anteil der Varianz innerhalb der Primäreinheiten der jeweiligen Schichten vernachlässigen. Insofern kommt auch in diesem Fall die obige Formel zum Einsatz mit

$$y_i(h) \hat{=} \frac{x_i(h)}{m_i(h)} \sum_{j=1}^{m_i(h)} \sum_{k=1}^{z_{ij}(h)} y_{ijk}(h)$$

und

$$z_i(h) \hat{=} \frac{x_i(h)}{m_i(h)} \sum_{j=1}^{m_i(h)} z_{ij}(h).$$

### 6.3 Voraussetzungen für die Anwendbarkeit der Schätzverfahren

Die vorgestellten Hochrechnungsverfahren und die damit verbundenen Fehlerschätzungen bzw. Genauigkeitsbeurteilungen basieren auf der Voraussetzung, dass die Stichprobe der Beobachtungseinheiten aus einer uneingeschränkten Zufallsauswahl resultiert. Werden die Beobachtungsorte und/oder die Beobachtungszeitintervalle hingegen bewusst ausgewählt, lassen sich die beschriebenen Methoden nicht (sinnvoll) anwenden.

## 7 Methodische Hinweise zur Ziehung einer Zufallsstichprobe für Verhaltensbeobachtungen im fließenden Verkehr

### 7.1 Möglichkeiten und Grenzen der Zufallsauswahl von Beobachtungseinheiten

Ob eine Zufallsauswahl von Beobachtungseinheiten nach einem der in Kapitel 5 beschriebenen Designs möglich ist und wie ein entsprechendes Auswahlverfahren gegebenenfalls konkret umgesetzt werden kann, hängt von verschiedenen Faktoren und Randbedingungen ab. Bedeutsam sind dabei insbesondere die Größe des Untersuchungsgebiets und die Länge des Untersuchungszeitraums.

#### 7.1.1 Zufallsauswahl bei kleinräumigen Studien

Ist das Untersuchungsgebiet im Hinblick auf seine Flächenausdehnung eher als klein anzusehen (z. B. eine Stadt oder ein Landkreis) und das zu betrachtende Straßennetz entsprechend überschaubar, sollte einer uneingeschränkten Zufallsauswahl von Beobachtungspunkten nichts im Wege stehen.

Vor allem dann, wenn es um die Beobachtung ortsbezogener Verhaltensmerkmale geht, also um Merkmale, die nur an bestimmten Punkten im Straßennetz wie Kreuzungen, Einmündungen, Fußgängerüberwegen, Bushaltestellen usw. erfasst werden können, ist es mit überschaubarem Aufwand möglich, eine Auswahlgrundlage für die Zufallsauswahl von Beobachtungsorten zu erstellen. Aus dem entsprechenden Register der N Kreuzungen usw.

im Untersuchungsgebiet kann die Stichprobe der  $n$  Beobachtungsorte nach dem Verfahren der uneingeschränkten oder geschichteten Zufallsauswahl gezogen werden.

Hat man den Untersuchungszeitraum in  $T$  Zeitintervalle (Länge z. B. 1 Stunde) zerlegt, so sind die Ziehung von  $n$  Beobachtungszeitintervallen und die Zusammenführung der ausgewählten Orte und Zeiten (siehe Kapitel 5.3) völlig unproblematisch.

Ein praktisches Beispiel für die Erstellung einer Auswahlgrundlage von Beobachtungsorten (hier: Kreuzungen) und -zeiten in einem räumlich begrenzten Gebiet und die Ziehung einer Zufallsstichprobe auf Basis dieser Auswahlgrundlage ist das „Observational Seat Belt Survey Protocol“, das in Kapitel 2.6 kurz beschrieben worden ist.

### 7.1.2 Zufallsauswahl bei großräumigen Studien

Bei der Verhaltensbeobachtung in großen Straßennetzen kommt als stichprobentechnische Innovation eine einstufige Zufallsauswahl der Beobach-

tungsorte unter Verwendung eines digitalen Straßennetzmodells infrage.

Von der PTV AG Karlsruhe, wurde zur Veranschaulichung des Verfahrens eine Zerlegung des Straßennetzes für den Raum Köln/Bergisch Gladbach unter Verwendung des Navteq-Netzes durchgeführt. Dabei wurden die Streckenabschnitte entlang ihres Verlaufes in gleich lange Abschnitte unterteilt (es liegen Unterteilungen in 5-, 10- und 100-Meter-Abschnitte<sup>33</sup> vor). Zur Illustration ist in Bild 1 ein Ausschnitt aus dem in 100-Meter-Abschnitte zerlegten Straßenraum von Bergisch Gladbach dargestellt.

In den dieser Grafik zugrunde liegenden Dateien sind die Mittelpunktskoordinaten dieser Abschnitte enthalten, das Koordinatensystem ist UTM (WGS84) Zone 32 Nord. Diese Koordinaten (Punkte in der Grafik) stellen somit die potenziellen Beobachtungsstandorte und damit die Auswahlgrund-

<sup>33</sup> Da die Streckenlängen in der Regel nicht exakt durch 5, 10 oder 100 m teilbar sind, bleibt bei jeder Strecke ein Reststück, welches kleiner als die Abschnittslänge ist.



**Bild 1:** Zerlegung des Straßenraums in Abschnitte der Länge 100 m (Ausschnitt)

lage für eine einstufige Klumpenauswahl dar. Eine solche Zerlegung ist auch für das gesamte bundesdeutsche Straßennetz möglich, wobei dann allerdings enorme Datenmengen anfallen.

Die Dateien, in denen jede Datenzeile einen Straßenabschnitt repräsentiert, enthalten darüber hinaus einen Bezug zu der Navteq-Strecke sowie ein „Netzlevel“, über den sich bestimmte Kategorien herausfiltern lassen. Bei Bedarf können den Daten weitere Merkmale (z. B. Straßenname) hinzugefügt werden, die das Auffinden der ausgewählten Orte erleichtern. Darüber hinaus lassen sich – mit gewissen Unschärfen – auch Merkmale wie Straßenklasse und Ortslage (innerorts/außerorts) für Zwecke der Schichtung zuspielden.

Auf der Basis der so konstruierten Auswahlgrundlage kann eine Zufallsstichprobe von  $n$  Beobachtungsorten gezogen werden. Im Grundsatz ist eine Zufallsauswahl „mit Zurücklegen“ durchzuführen, jedoch erscheint dies angesichts des sehr großen Umfangs der Grundgesamtheit von Beobachtungsorten ( $N = 64,4$  Mio. bei einer Zerlegung des deutschen Straßennetzes in 10-Meter-Abschnitte) entbehrlich. Insofern ist auch eine Auswahl ohne Zurücklegen möglich, indem z. B. jeder Datenzeile eine Zufallszahl zugewiesen wird, nach welcher der Datensatz anschließend zu sortieren ist. Die Stichprobe besteht dann aus den ersten  $n$  Beobachtungen (Zeilen) des sortierten Datensatzes.

Grundsätzlich ist das skizzierte Stichprobendesign auch für verkehrstechnische Erhebungen geeignet, wenn für das Netz als Ganzes Aussagen (z. B. Verteilung der Fahrgeschwindigkeiten im Netz) gemacht werden sollen. Auch die Stichprobenziehung für die Bundesverkehrszählung (SVZ) könnte nach diesem Muster durchgeführt werden.

An dieser Stelle muss natürlich auch die Praktikabilität dieses Designs kurz diskutiert werden. Hier ist es zum einen so, dass sich – je nach zu beobachtendem Merkmal – mehr oder weniger viele der zufällig ausgewählten Beobachtungsorte als nicht geeignet erweisen könnten, z. B. weil dort die Sicherheit der Beobachter nicht gewährleistet ist.

Bei der Beobachtung ortsunabhängiger Merkmale (z. B. Gurnutzung, Tagesfahrlicht) kann – sofern sich in unmittelbarer Nähe des Straßenabschnitts ein geeigneter Standort findet – der ursprünglich (zufällig) gewählte Beobachtungspunkt räumlich etwas verschoben werden, sofern dadurch nicht in

größerem Umfang Verkehrsströme hinzukommen bzw. wegfallen.<sup>34</sup> Erweist sich ein Standort als völlig ungeeignet und ist keine Verschiebung möglich, sollte die Erhebung an einem im Vorhinein zufällig ausgewählten Reservepunkt stattfinden.

Zum anderen ist bei einer Zufallsauswahl von Orten und Zeiten nach diesem Muster eine enorme räumlich-zeitliche Streuung der Erhebungseinheiten zu erwarten, insbesondere wenn der Untersuchungszeitraum ein Jahr beträgt und sich die Beobachtung auf das gesamte deutsche Straßennetz bezieht. Dies hat natürlich in erster Linie Konsequenzen in forschungsökonomischer Hinsicht.

Eine Möglichkeit zur Reduktion der Erhebungskosten besteht darin, die Zeitintervalle von räumlich beieinander liegenden Beobachtungsorten zusammenzulegen (Gruppierung; vgl. EBY & STREFF, 1994).<sup>35</sup> Allerdings gibt man durch diese zeitliche Klumpung den ursprünglichen Ansatz einer Zufallsauswahl wieder ein Stück weit auf. Es würden dann beispielsweise die Orte der Gruppe A im Januar, die der Gruppe B im Februar usw. untersucht, was z. B. bei der Erhebung von Lichteinschaltquoten am Tag durchaus zu verzerrten Resultaten führen kann.

Um den Rahmen der Stichprobentheorie nicht zu verlassen, ist alternativ hierzu an eine mehrstufige Zufallsauswahl der Beobachtungsorte zu denken, bei welcher im Sinne einer Flächenstichprobe in Stufe 1 einige Teilräume des gesamten Untersuchungsgebiets (Kreise oder andere Gebietseinheiten) ausgewählt werden. Die Auswahl der Beobachtungsorte innerhalb der entsprechenden Teilräume kann dann in Stufe 2 nach dem eben beschriebenen Verfahren erfolgen.

Bezogen auf bundesdeutsche Verhältnisse könnte z. B. auf der ersten Stufe eine Zufallsstichprobe aus den insgesamt 413 Kreisen (Stand: Ende 2008) gezogen werden. Wählt man dabei allerdings nur einige wenige Kreise aus, besteht die Gefahr, dass bestimmte Kreistypen über- oder unterrepräsentiert

<sup>34</sup> Dies könnte z. B. auf Beobachtungsorte an Autobahnen zutreffen, wo im Hinblick auf Merkmale wie Gurnutzung keine nennenswerten Verhaltensänderungen der Fahrer bzw. Insassen zwischen zwei aufeinander folgenden Anschlussstellen zu erwarten sind.

<sup>35</sup> Ein ähnliches Vorgehen wird z. B. bei Fahrgastzählungen in Zügen im Rahmen des Reisendenerfassungssystems der Deutschen Bahn AG angewandt, um den Einsatz des Zählpersonals effizienter zu gestalten.

sind (z. B. ländliche Kreise mit wenig Autobahnkilometern oder kreisfreie Städte in Ballungsräumen). Dies kann insbesondere bei periodischen Erhebungen mit jeweils neuer Stichprobenauswahl der Beobachtungsorte einen negativen Einfluss auf die Vergleichbarkeit der Ergebnisse haben. Insofern ist bei der Auswahl der Teilräume eine Schichtung nach siedlungs- oder verkehrsstrukturellen Merkmalen zu empfehlen. Ein Schichtungskriterium bei der Auswahl von Kreisen könnte z. B. das Merkmal „kreisfreie Stadt/Landkreis“ sein. 2008 betrug der Anteil der kreisfreien Städte an allen Kreisen ca. 27,1 % (112 von 413). Zusätzlich käme noch – sofern entsprechende Informationen vorhanden sind – eine Schichtung nach verkehrsstrukturellen Merkmalen in Betracht.

## 7.2 Besonderheiten bei periodischer Verhaltensbeobachtung (Längsschnittstudien)

Bei kontinuierlichen Erhebungen wie z. B. den Erhebungen der BAST zum Sicherungsverhalten geht es außer um eine möglichst genaue Beschreibung des aktuellen Zustands auch um das Aufzeigen von Veränderungen des Verkehrsverhaltens im Zeitverlauf.

Bei Längsschnittuntersuchungen stellt sich grundsätzlich die Frage, ob

- zu jedem Untersuchungszeitpunkt immer wieder eine neue Stichprobe von Beobachtungsorten (und -zeiten) gezogen wird („unabhängige Stichproben“, in der Sozialforschung auch „replikative Surveys“ genannt) oder
- die einmal ausgewählten Beobachtungsorte (und -zeiten) zu verschiedenen Untersuchungszeitpunkten beibehalten werden („Panel-Design“, „verbundene Stichprobe“).

Im Fall einer mehrstufigen Auswahl von Erhebungseinheiten (erst Teilräume des Untersuchungsgebiets auswählen, dann Beobachtungsorte/-zeiten innerhalb der Teilräume) können analog hierzu

- von Untersuchungszeitpunkt zu Untersuchungszeitpunkt immer wieder neue Teilräume – und damit zwangsläufig auch neue Erhebungseinheiten – ausgewählt oder
- die gleichen Teilgebiete wiederholt untersucht werden.

Bei der letzteren Variante – d. h. einem Panel auf der Ebene der Teilräume – kann man nochmals danach unterscheiden, ob innerhalb der Teilräume zu jedem Untersuchungszeitpunkt eine neue Zufallsauswahl von Beobachtungsorten (und -zeiten) durchgeführt wird oder ob diese ebenfalls konstant bleiben.

Generell liegen die Vorzüge eines Panel-Designs darin, dass die Schätzung der Veränderung zwischen zwei Zeitpunkten genauer (als die aus zwei unabhängigen Stichproben resultierende Schätzung der Veränderung) ist, falls das Untersuchungsmerkmal über die Untersuchungszeitpunkte korreliert.<sup>36</sup> Dies ist z. B. dann der Fall, wenn Erhebungseinheiten mit niedriger (hoher) Lichteinschaltquote zum Zeitpunkt  $t_1$  auch zum Zeitpunkt  $t_2$  tendenziell eine niedrige (hohe) Quote aufweisen. In je höherem Maße dies der Fall ist, desto größer ist der Genauigkeitsgewinn eines Paneldesigns im Vergleich zu unabhängigen Stichproben, was sich in der Konsequenz in einem engeren Konfidenzintervall ausdrückt.

Paneldesigns haben aber auch Nachteile, die insbesondere mit nicht kontrollierten Strukturveränderungen innerhalb der einmal gewählten Beobachtungseinheiten zu tun haben (bauliche Veränderungen, hinzukommende bzw. entfallende Verkehrsströme etc.). Solche Strukturveränderungen über die Zeit können einerseits zu einer Beeinträchtigung der Vergleichbarkeit der Ergebnisse führen und andererseits die Repräsentativität der einmal gezogenen Stichprobe von Beobachtungseinheiten infrage stellen. Insofern empfiehlt es sich, bei Panelerhebungen möglichst viele begleitende Merkmale (Kontrollvariable) zu erfassen, um entsprechende Veränderungen (baulicher Art, Verkehrsstärke etc.) dokumentieren und ggf. ihre Auswirkungen auf die Resultate der Verhaltensbeobachtung bewerten zu können.

Als Optimierungsstrategie für solche kontinuierlichen Erhebungen bietet sich ein so genanntes rotierendes Panel an, bei dem zum Beispiel jeder Beobachtungsort (bzw. Ort/Zeit-Kombination) über 3 aufeinander folgende Jahre hinweg in der Stichprobe verbleibt. In jedem Jahr scheidet dann ein Drittel der Orte aus der Stichprobe aus und wird durch

<sup>36</sup> Die Streuung einer Differenz aus zwei Zeitpunkten bei verbundenen Stichproben ist ja die Summe der beiden Einzelvarianzen abzüglich zweimal der Kovarianz (vgl. z. B. HARTUNG, 1989, S. 534).

neue (zufällig ausgewählte) Orte ersetzt. Diese Ersetzung sollte schichtweise vorgenommen werden, also z. B. ein Drittel der Autobahnstandorte, ein Drittel der Innerortsstandorte etc. Durch ein solches Design können gleichermaßen zeitliche Entwicklungen hinsichtlich des Untersuchungsmerkmals – über den Vergleich der jeweils in der Stichprobe verbleibenden Einheiten – als auch dessen absolutes Niveau zum jeweiligen Zeitpunkt – durch Betrachtung jeweils aller Einheiten – geschätzt werden.

Im Fall einer mehrstufigen Auswahl von Beobachtungsorten (erst Teilräume des Untersuchungsgebiets auswählen, dann Beobachtungsorte innerhalb der Teilräume) kann das Prinzip der Rotationsstichprobe ggf. auf beide Auswahlstufen angewendet werden. Zu jedem Untersuchungszeitpunkt würden ein Drittel der Teilräume (schichtweise) und innerhalb der verbleibenden Räume jeweils ein Drittel der Erhebungseinheiten (wiederum schichtweise) über ein Zufallsverfahren ersetzt.

### 7.3 Bewusste Auswahl von Beobachtungsorten

Sollte – z. B. aus forschungsökonomischen Gründen – eine (uneingeschränkte) Zufallsauswahl von Beobachtungspunkten nicht möglich sein, kann es sich als notwendig erweisen, einen Kompromiss zwischen den statistisch-methodischen Anforderungen und den Kostenabwägungen zu finden. Eventuell ist es hier möglich, ein flächenmäßig kleines 'repräsentatives Untersuchungsgebiet' zu definieren, von dem man – hinsichtlich der Untersuchungsmerkmale – auf das eigentliche (große) Untersuchungsgebiet schließen kann (vgl. das Beispiel Haßloch in der Markt- bzw. Fernsehforschung).

Innerhalb des 'repräsentativen Untersuchungsgebiets' sollte dann aber eine uneingeschränkte Zufallsauswahl von Beobachtungsorten (und ggf. -intervallen) gemäß Kapitel 7.1.2 erfolgen. Nichtsdestotrotz lässt sich jedoch die Validität dieses Schließens im Sinne einer Übertragung der Ergebnisse aus diesem Bezirk auf die Gesamtheit stichprobentheoretisch nicht untermauern bzw. bewerten. Die in Kapitel 6 vorgestellten Hochrechnungsverfahren und die damit verbundenen Fehlerschätzungen bzw. Genauigkeitsbeurteilungen basieren auf der Voraussetzung, dass die Stichprobe der Beobachtungseinheiten aus einer uneingeschränk-

ten Zufallsauswahl resultiert. Werden die Beobachtungsorte und/oder die Beobachtungszeitintervalle hingegen bewusst ausgewählt, lassen sich die beschriebenen Methoden nicht (sinnvoll) anwenden.

Eventuell können auch mehrere solche repräsentative Bezirke bestimmt werden, wobei sich natürlich die Frage stellt, auf welcher Basis die „Repräsentativität“ beurteilt werden kann. Bei den Erhebungen der BAST zur Gurnutzung z. B. wurden 6 Gebiete hauptsächlich nach bevölkerungs- und siedlungsstrukturellen Kriterien („Inländer-Konzept“) ausgesucht (vgl. Ingenieurbüro für Verkehrstechnik, 2000, S. 10 f.). Vor allem – aber nicht nur – auf Autobahnen wird jedoch ein erheblicher Anteil der Fahrten in einer Region von Personen durchgeführt, die nicht in der Region ansässig sind. Insofern stellt sich die Frage, ob man bei einer solchen bewussten Gebietsauswahl nicht eher auf verkehrsstrukturelle Kriterien („Inlands-Konzept“) zurückgreifen müsste. Möglicherweise lassen sich aus den Straßenverkehrszählungen der letzten Jahre Anhaltspunkte für Gebiete mit einer für Deutschland repräsentativen Verkehrsstruktur gewinnen.

## 8 Erhebungspraktische Aspekte einer Verkehrsverhaltensbeobachtung

Im Folgenden soll das in den vorangegangenen Kapiteln entwickelte Rahmenkonzept zur Verkehrsverhaltensbeobachtung unter erhebungspraktischen Gesichtspunkten aufbereitet und zusammengefasst werden. In Anlehnung an EBY & STREFF (1994) wird ein aus sechs Schritten bestehender Orientierungsrahmen für das konkrete Vorgehen bei Beobachtungsstudien vorgestellt. Ein detaillierter Leitfaden für alle möglichen Arten von Verkehrsbeobachtungen würde jedoch den Rahmen dieses Projekts bei weitem sprengen.

### 8.1 Schritt 1: Abgrenzung des Untersuchungsgegenstands

Wie bei jeder Erhebung muss der Untersuchungsgegenstand einer Verhaltensbeobachtung – also die interessierenden Vorbeifahrten von Fahrzeugen bzw. deren Insassen – in räumlicher, zeitlicher und sachlicher Hinsicht abgegrenzt werden.

Die räumliche Abgrenzung läuft auf eine exakte Beschreibung des im Erhebungsgebiet zu untersuchenden Netzes bzw. Teilnetzes (ggf. auch der zu untersuchenden Netzelemente) hinaus. Eine Verallgemeinerung der aus stichprobenartigen Beobachtungen in einem vorab definierten Erhebungsgebiet (z. B. innerörtliche Knotenpunkte in Gemeinden des Landkreises A) gewonnenen Resultate für Regionen, die nicht zum Erhebungsgebiet gehören (z. B. innerörtliche Knotenpunkte in Gemeinden des Landkreises B), ist streng genommen nicht zulässig; zumindest gibt es keine stichprobentheoretische Grundlage für derartige Übertragungen von Resultaten, da im vorliegenden Beispiel Beobachtungsorte aus Landkreis B von vorneherein keine Auswahlchance haben.

Die zeitliche Abgrenzung des Untersuchungsgegenstands ist gleichbedeutend mit einer Festlegung der Zeiträume bzw. Zeitabschnitte (z. B. Monate, Wochentage, Tageszeiten), auf welche sich die zu schätzenden Verhaltenskennzahlen (z. B. Fahrleistungsanteil „mit Licht“) beziehen sollen. Das Verhaltensmerkmal „Fahren mit/ohne Tagesfahrlich“ kann logischerweise nur bei Helligkeit erhoben werden, Beobachtungen zur Gurnutzung setzen voraus, dass – von der Benutzung von Nachtsichtgeräten einmal abgesehen – genügend Tageslicht vorhanden ist, um das Merkmal „Gurttragen ja/nein“ hinreichend genau erfassen zu können. Je nach Jahreszeit – und im Übrigen auch je nach geografischer Lage des Erhebungsgebiets – wird somit die täglich zur Verfügung stehende Beobachtungsdauer variieren. Der Untersuchungszeitraum könnte in diesem Fall also alle Stunden des Jahres umfassen, für welche die Lichtverhältnisse durch die Kategorie „Helligkeit“ gekennzeichnet sind (eine operationale Definition dieses Untersuchungszeitraums ist schwierig!). An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass analog zum Untersuchungsgebiet die Beobachtungsergebnisse nur für den entsprechenden Untersuchungszeitraum gültig sind. So können werktägliche Erhebungen zur Gurnutzung nicht verwendet werden, um für das Verkehrsaufkommen an Wochenenden den mit Gurt zurückgelegten Fahr- bzw. Verkehrsleistungsanteil zu schätzen.

In sachlicher Hinsicht muss festgelegt werden, welche Vorbeifahrten in die Erhebung einbezogen werden sollen (wobei natürlich auch Fußgänger Gegenstand einer Verkehrsverhaltensbeobachtung sein können). Hierbei geht es also insbeson-

dere darum zu definieren, welche Fahrzeugarten in der Erhebung berücksichtigt bzw. nicht berücksichtigt werden (z. B. keine schweren Lkw, keine Mofas, keine landwirtschaftlichen Fahrzeuge etc.). Der Aufwand hierfür sollte nicht unterschätzt werden. So ist z. B. im Vorhinein zu entscheiden, wie mit Militärkolonnen oder Einsatzfahrzeugen von Polizei und Rettungsdiensten umgegangen werden soll. Ein anderes Beispiel ist die Behandlung von Quads oder Trikes bei der Beobachtung der Helmtragequote unter motorisierten Zweiradfahrern.

## 8.2 Schritt 2: Auswahl der Beobachtungsorte

Für eine Zufallsauswahl von Beobachtungsorten muss zunächst für das in Schritt 1 abgegrenzte Gebiet eine Liste aller potenziellen Beobachtungsorte (Auswahlgrundlage, „sampling frame“) erstellt werden. Bei der Erhebung ortsbezogener Verhaltensmerkmale (vgl. Kapitel 3.3.3) handelt es sich in der Regel um eine abgrenzbare Menge von Verkehrsinfrastruktureinrichtungen (Knotenpunkte, Kreisverkehre, Fußgängerüberwege etc.), die ggf. aus vorhandenen Straßendatenbanken separiert werden kann. Im Falle einer sehr kleinräumigen Studie ist es natürlich auch denkbar, die Auswahlgrundlage „von Hand“ durch systematisches Begehen oder Befahren des Gebietes mit entsprechender Aufzeichnung der relevanten Knotenpunkte etc. zu erstellen.

Ortsunabhängige Verhaltensmerkmale (z. B. Gurnutzung) können dagegen an jedem beliebigen Straßenquerschnitt beobachtet werden. Zur Generierung einer Auswahlgrundlage kann das in Kapitel 7.1.2 beschriebene Verfahren einer Zerlegung des Straßennetzes in etwa gleich lange Teilabschnitte verwendet werden.

Hat man eine geeignete Liste von  $N$  potenziellen Beobachtungsorten, so muss eine Stichprobe von  $n$  Orten nach dem Muster einer Zufallsauswahl mit Zurücklegen gezogen werden (vgl. Kapitel 5.3.1). Dabei kann so vorgegangen werden, dass zunächst alle Elemente der Liste von 1 bis  $N$  durchnummeriert werden. Danach wird  $n$ -mal eine Zufallszahl zwischen 1 und  $N$  bestimmt, wobei jeweils das Listenelement mit der gezogenen Nummer als ausgewählt gilt. Besteht die Liste z. B. aus 800 möglichen Beobachtungsorten und möchte man 50 davon auswählen, so ist 50-mal eine Zufallszahl

zwischen 1 und 800 zu bestimmen.<sup>37</sup> Das heißt, dass ein Beobachtungsort mehrfach in die Stichprobe gelangen kann (Auswahl mit Zurücklegen) und in diesem Fall auch mehrfach (nämlich zu verschiedenen Zeiten) zu erheben ist.

Lässt sich die Gesamtheit der möglichen Beobachtungsorte nach bestimmten Merkmalen in disjunkte Schichten zerlegen (z. B. bei Knoten nach Ortslage oder bei Straßenquerschnitten nach Straßenklasse), so kann eine geschichtete Zufallsauswahl (vgl. Kapitel 5.3.4) vorgenommen werden. Der eben geschilderte Auswahlprozess ist dann innerhalb jeder einzelnen Schicht vorzunehmen. Eine Schichtung erbringt bekanntermaßen dann eine höhere Genauigkeit der Ergebnisse, wenn das Untersuchungsmerkmal (z. B. Tagesfahrlicht) stark mit dem Schichtungsmerkmal (z. B. Straßenklasse) korreliert.

### 8.3 Schritt 3: Auswahl der Beobachtungszeiten

Für die Auswahl der Beobachtungszeiten ist zunächst der gesamte Untersuchungszeitraum in Zeitintervalle gleicher Länge (z. B. 1 oder 2 Stunden – dies kann auch vom Verkehrsaufkommen abhängig gemacht werden) zu zerlegen.

Umfasst ein 4-wöchiger Untersuchungszeitraum (28 Tage) z. B. jeweils die Tageszeiten zwischen 9:00 Uhr und 17:00 Uhr (8 Stunden), so hat man es mit einem Untersuchungszeitraum der Länge  $28 \times 8 = 224$  Stunden zu tun. Wird nun an jedem Tag der maßgebliche Zeitraum (9:00 bis 17:00 Uhr) in 4 Zeitintervalle à 2 Stunden unterteilt, so untergliedert sich der gesamte Untersuchungszeitraum in  $T = 112$  Zeitintervalle. Aus einer Liste dieser  $T$  Intervalle ist dann eine Zufallsauswahl (mit Zurücklegen) von  $n$  Intervallen vorzunehmen (vgl. Kapitel 5.3.2).

In Bezug auf die Ziehungsmethodik kann dabei ganz analog zur Vorgehensweise bei der Auswahl der Orte verfahren werden. Im vorliegenden Bei-

spiel heißt dies, dass 50-mal eine Zufallszahl zwischen 1 und 112 zu bestimmen ist. Kombiniert man die ausgewählten 50 Beobachtungsorte mit den ausgewählten 50 Beobachtungszeitintervallen (z. B. indem man den ersten Beobachtungsort mit dem ersten Zeitintervall, den zweiten Beobachtungsort mit dem zweiten Zeitintervall usw. der jeweiligen Stichproben verknüpft), so erhält man die benötigte Stichprobe der 50 Primär- bzw. Erhebungseinheiten (vgl. Kapitel 5.3.3).

Innerhalb der so bestimmten Erhebungseinheiten (Kombinationen von Beobachtungsort und -zeit) sollten dann nach Möglichkeit alle vorbeifahrenden Fahrzeuge beobachtet werden. Zulässig ist es jedoch auch, nach dem Prinzip einer systematischen Zufallsauswahl nur bei jeder  $k$ -ten Fahrzeugvorbeifahrt das Untersuchungsmerkmal zu erheben (vgl. Kapitel 5.4).

Generell empfiehlt es sich, die Stichprobe der Beobachtungsorte etwas größer als erforderlich zu wählen, um Ausfälle (z. B. mangelnde Eignung der einen oder anderen Beobachtungsstelle) durch „Ersatzorte“ kompensieren zu können (zur Frage der Anzahl zu wählender Beobachtungseinheiten, die nach der eben beschriebenen Vorgehensweise ja gleich der Zahl der Beobachtungsorte ist, vgl. Kapitel 5.5).

### 8.4 Schritt 4: Bereitstellung technischer Hilfsmittel und Beobachterschulung

Eine ausführliche Unterweisung der Beobachter ist wichtig, um einen hohen Grad an Standardisierung zu erreichen. Aussagefähige Ergebnisse sind nur dann zu erhalten, wenn man sich sicher sein kann, dass alle Beobachter bei der Merkmalserfassung in identischer Weise vorgehen.

Im Vorfeld der Erhebungsdurchführung und der Beobachterschulung müssen zunächst einmal alle notwendigen Materialien, Hilfsmittel und – sofern erforderlich – technischen Geräte in ausreichender Zahl zur Verfügung stehen. Dies betrifft z. B.:

- Beobachtungsprotokolle (Datenformulare) bzw. technische Erfassungshilfen wie z. B. PDA,
- Uhren,
- Karte des Untersuchungsgebiets mit eingezeichneten Beobachtungsstandorten,

<sup>37</sup> Alternativ kann eine Datei erzeugt werden, in der jedes Element der Grundgesamtheit  $n$ -mal enthalten ist. Jeder der  $n \times N$  Datenzeilen wird dann eine Zufallszahl zugewiesen, nach welcher der Datensatz anschließend zu sortieren ist. Die Stichprobe besteht dann aus den ersten  $n$  Beobachtungen des sortierten Datensatzes.



- Liste aller Beobachtungsorte, innerorts mit „Adresse“,
- Warnwesten,
- ggf. technische Geräte zur Datenerhebung (Handzählgeräte, Kamera, Video, Nachtsichtgeräte) und zur Beleuchtungsstärkemessung (Luxmeter) inkl. Bedienungsanleitung.

Die eigentliche Schulung sollte im Idealfall aus einem theoretischen und einem praktischen Teil bestehen. Im theoretischen Teil sollte der Erhebungsablauf detailliert durchgesprochen und das korrekte Ausfüllen der entsprechenden Formblätter (bzw. die elektronische Erfassung) erläutert werden. Generell müssen im Fall des Einsatzes technischer Gerätschaften natürlich entsprechende Einweisungen stattfinden. Weiterhin sind die Beobachter auf mögliche Gefahren aufmerksam zu machen und müssen auf eventuell auftretende Probleme (z. B. schlechtes Wetter und damit möglicherweise verbundene Sichteinschränkungen oder Sichtbehinderungen durch getönte Scheiben bei der Beobachtung des Fahrzeuginnenraums) durch entsprechende Handlungsanweisungen vorbereitet werden. Darüber hinaus ist darauf hinzuwirken, dass Beobachter hinsichtlich des äußeren Erscheinungsbildes so auftreten, dass sie nicht mit Verkehrsüberwachungspersonal verwechselt werden, da sich dies auf das Verhalten der zu beobachtenden Personen auswirken kann.

Im praktischen Teil der Schulung sollte von jedem Beobachter unter entsprechender Anleitung bzw. Überwachung der gesamte Prozess der Beobachtung an einer realistischen Beobachtungsstelle durchgespielt werden.

## 8.5 Schritt 5: Durchführung der Beobachtung

Im Vorfeld der Erhebung sind in der Regel zunächst Vorbereitungen organisatorisch-administrativer Art zu treffen. Dies umfasst z. B. das Einholen behördlicher Genehmigungen (z. B. für das Abstellen von Beobachter-Fahrzeugen auf Autobahnbrücken) oder – insbesondere beim Einsatz von Videokameras – die Berücksichtigung datenschutzrechtlicher Aspekte. In jedem Fall empfiehlt es sich, die Polizei über Zeit und Ort der Beobachtung zu informieren. Darüber hinaus ist für die ausgewählten Beobachtungsorte im Vorhinein zu prüfen, ob die erforderlichen Rahmenbedingungen für die Durchführung

der Beobachtung gegeben sind (so ist z. B. für die Beobachtung der Gurtnutzung von Lkw-Insassen ein erhöhter Standort notwendig). Hierbei spielt natürlich die Sicherheit der Beobachter eine zentrale Rolle.

Erweist sich ein Standort als gänzlich ungeeignet, sollte die Erhebung an einem im Vorhinein zufällig ausgewählten Reservepunkt stattfinden (siehe Kapitel 8.3). Bei der Beobachtung ortsunabhängiger Merkmale (z. B. Gurtnutzung, Tagesfahrlicht) kann – sofern sich in unmittelbarer Nähe des eigentlich ausgewählten Straßenabschnitts ein geeigneter Standort findet – der ursprünglich (zufällig) gewählte Beobachtungspunkt etwas verschoben werden. Allerdings sollte die Verschiebung nicht so weit gehen, dass dadurch in größerem Umfang Verkehrsströme hinzukommen bzw. wegfallen.

Bei ortsunabhängigen Verhaltensmerkmalen (vgl. Kapitel 3.3.3) sollten entweder beide Fahrtrichtungen gleichzeitig erhoben oder grundsätzlich immer nur eine Fahrtrichtung (zufällig) ausgewählt werden. Aus statistischer Sicht ist dagegen nicht zu empfehlen, beide Fahrtrichtungen zeitlich versetzt (nacheinander) zu beobachten. Darüber hinaus muss noch entschieden werden, ob bei mehrspurigen Straßen alle Fahrstreifen beobachtet werden oder nur ein Fahrstreifen zufällig ausgewählt wird.

Analog ist bei der Erhebung ortsbezogener Verhaltensmerkmale an Knotenpunkten ein Standort (Knotenarm) zufällig auszuwählen, sofern – z. B. aus Kapazitätsgründen – nicht alle Knotenarme gleichzeitig erhoben werden können.

Die Verhaltensbeobachtung selbst kann per Augenschein oder apparativ, also unter Verwendung elektronischer Aufzeichnungsgeräte (Video), vorgenommen werden. KORDA (1999) nennt folgende Vorteile einer Videoaufzeichnung:

- Kontinuierliche Beobachtung ist möglich, d. h. keine Ausfallzeiten durch Ausfüllen der Datenblätter (bei LIMBOURG (2005, S. 4) wird eine Beobachtung mit zwischenzeitlicher Protokollierung als „intermittierende Beobachtung“ bezeichnet),
- es ist keine spontane Beurteilung erforderlich,
- Möglichkeit zur nachträglichen Überprüfung ist gegeben,
- bei nicht-apparativer Beobachtung können Konzentrationsschwächen der Beobachter die Ergebnisse beeinflussen.

Diesen Vorteilen stehen jedoch auch einige Nachteile gegenüber:

- eingeschränkter Einsatz (bzw. Geräteausfall) bei schlechten Licht- und Witterungsverhältnissen,
- optische Verzerrung aufgrund der Objektive (z. B. „Phantomlicht“),
- hoher Auswertungsaufwand, da keine automatisierte Auswertung möglich,
- es kann zu Fehlreaktionen der beobachteten Verkehrsteilnehmer kommen, weil die Beobachtung eventuell als Geschwindigkeitsmessung oder dergleichen fehlinterpretiert wird.

Insbesondere der letztgenannte Punkt erscheint sowohl unter methodischen als auch unter Verkehrssicherheitsaspekten problematisch. Um das Verhalten der Verkehrsteilnehmer nicht zu beeinflussen und vor allem um keine gefährlichen Verkehrssituationen oder gar Unfälle heraufzubeschwören, sollte die Beobachtung des fließenden Verkehrs so weit als möglich verdeckt vorgenommen werden.

Die Erfassung des Beobachteten kann entweder per Hand über entsprechende (vorbereitete) Datenformulare oder unter Zuhilfenahme elektronischer „Registrierhilfen“ (LIMBOURG, 2005) erfolgen. In jedem Erhebungszeitintervall müssen die Zahl der (untersuchungsrelevanten) Fahrzeuge insgesamt sowie die Zahl der Fahrzeuge mit der jeweils interessierenden „positiven“ Ausprägung (Licht an; Gurt angelegt; Blinker betätigt etc.) erfasst werden. Die Erfassung der Gesamtzahl der Vorbeifahrten ist im Übrigen auch dann erforderlich, wenn nur jede  $k$ -te Vorbeifahrt im Hinblick auf das Verhaltensmerkmal beobachtet wird.

Darüber hinaus sollten in jedem Fall noch Datum und Uhrzeit, der Name des Beobachters sowie Angaben zur Beobachtungsstelle und zum Beobachtungszeitintervall (z. B. Witterungsverhältnisse) dokumentiert werden.

## 8.6 Schritt 6: Auswertung und Interpretation der Ergebnisse

In vielen Fällen hat das in Beobachtungsstudien untersuchte Verhaltensmerkmal nur zwei Ausprägungen. Durch Verhaltensbeobachtung an ausgewählten Orten während ausgewählter Zeitintervalle wird

deshalb in der Regel eine empirische Quote ermittelt, beispielsweise die Quote der Fahrzeugvorbeifahrten mit Tagesfahrlicht.

Diese Quote wird aus den Einzeldaten der Stichprobe so berechnet, dass die Gesamtzahl der Vorbeifahrten mit eingeschaltetem Licht (Summe über alle Beobachtungsorte und -zeitintervalle) ins Verhältnis gesetzt wird zur Gesamtzahl aller beobachteten Vorbeifahrten – auch hier wieder zu verstehen als Summe über alle Erhebungseinheiten. Es handelt sich bei der aus den Stichprobendaten zu berechnenden Quote also um das Verhältnis zweier Stichprobentotalwerte („ratio of the sample totals“) und nicht etwa um den Mittelwert der Quoten für die einzelnen Ort/Zeit-Kombinationen in der Stichprobe<sup>38</sup> („sample average ratio“).

Je nach Beobachtungsmerkmal ist die ermittelte Quote ein Schätzwert für unterschiedliche Typen von Verhaltenskennzahlen.

Bei ereignisbezogenen Merkmalen (vgl. Kapitel 3.3.4) wie z. B. „Verhalten beim Rechtsabbiegen an roter Ampel mit Grünpfeil (vorher anhalten ja/nein)“ lässt sich die resultierende empirische Quote  $q$  der „positiven“ Ereignisse wie folgt interpretieren: Die empirisch ermittelte Quote  $q$  ist ein Schätzwert für den unbekanntem Anteil aller im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums stattfindenden „positiven“ Ereignisse. Bezogen auf das vorangegangene Beispiel lautet die Interpretation demnach wie folgt: Bei etwa  $q$  % aller Rechtsabbiegevorgänge bei Rot an Ampeln mit Grünpfeil ist das Verhalten des Fahrers („vorher Anhalten“) korrekt (vgl. Kapitel 4.2). Folgende Aussagen sind dagegen nicht zulässig:

- Bei etwa  $q$  % der Fahrten von Fahrzeugen im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums ist das Verhalten korrekt (vor dem Rechtsabbiegen an einer roten Ampel mit Grünpfeil anhalten).
- Etwa  $q$  % der Fahrer verhalten sich im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums im Hinblick auf das interessierende Ereignis korrekt.

Bei zustandsbeschreibenden Merkmalen (vgl. Kapitel 3.3.4) wie z. B. „Fahren mit Tagesfahrlicht (ja/nein)“ lässt sich die empirisch ermittelte Quote  $q$

<sup>38</sup> Vgl. BARNETT (1991), S. 78 ff.

(hier der Stichprobenanteil der Vorbeifahrten mit Licht) als Schätzwert für den unbekanntem Anteil der Fahrzeug- bzw. Personenkilometer im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums interpretieren, die in dem entsprechenden „positiven Zustand“ (mit Licht, mit Gurt o. Ä.) zurückgelegt werden.

Während bei ereignisbezogenen Verhaltensmerkmalen die empirische Quote  $q$  ein Schätzwert für einen unbekanntem Anteilswert (Anteil der korrekt ausgeführten Abbiegevorgänge an allen Abbiegevorgängen) darstellt, ist bei zustandsbeschreibenden Merkmalen die Quote  $q$  ein Schätzwert für eine Verhältniszahl (Summe der Fahrleistungen im positiven Zustand bezogen auf die Summe aller Fahrleistungen; vgl. Kapitel 4.3).

## 9 Beurteilung der Erhebungen zum Sicherungsverhalten vor dem Hintergrund des entwickelten Rahmenkonzepts

Das wesentliche Ziel der Standarderhebungen der BASt zum Sicherungsverhalten in Pkw und Lkw besteht darin, die zeitlichen Veränderungen im Sicherungsverhalten aufzuzeigen. Es werden Gurtanlagequoten getrennt nach Fahrzeugarten und Insassen ermittelt, um außerdem aufzuzeigen, wo noch Verbesserungspotenzial besteht. Bei den Pkw-Erhebungen werden folgende Teilgruppen (Schichten) unterschieden:

- Fahrer,
- Erwachsene auf dem Beifahrersitz,
- Erwachsene im Fond,
- Kinder bis 5 Jahre auf dem Beifahrersitz,
- Kinder zwischen 6 und 11 Jahren auf dem Beifahrersitz,
- Kinder bis 5 Jahre im Fond,
- Kinder zwischen 6 und 11 Jahren im Fond.

Für alle Schichten werden Gurtanlagequoten getrennt für die Kategorien Autobahn, Landstraße und Innerortsstraße ermittelt (im Folgenden wird hierfür der aus der Unfallstatistik stammende Begriff „Ortslage“ verwendet). Bei Kindern wird innerorts und auf Landstraßen zusätzlich noch erhoben, ob diese altersgerecht gesichert sind.

Bei Lkw (nur Autobahn und Landstraße) werden die vier folgenden Fahrzeugarten unterschieden und diese nochmals nach Herkunft (Inland/Ausland) getrennt:

- Lkw bis 3,5 t,
- Lkw über 3,5 t,
- Lastzüge,
- Sattelkraftfahrzeuge (Zugfahrzeuge mit Auflieger).

Die jährlichen Erhebungen werden für Pkw und Lkw immer unter möglichst gleichen Bedingungen durchgeführt (gleiche Standorte, gleiche Monate außerhalb der Ferienzeit), wobei Orte und Zeiten nach dem Prinzip einer bewussten Auswahl festgelegt wurden. Es hat sich gezeigt, dass sich die Quoten zwischen den einzelnen Schichten unterscheiden. Wenngleich in einer Sondererhebung zur Nutzung von Gurten und Kinderrückhaltesystemen in Pkw (1996) festgestellt wurde, dass die Quoten aus 6 anderen Gebieten (Westdeutschland) nur gering von den Quoten aus der Standarderhebung abweichen, ist nicht bekannt, ob die ermittelten Quoten aus den Standarderhebungen repräsentativ für Deutschland sind.

Insbesondere hinsichtlich des Auswahlverfahrens besteht somit ein gravierender Unterschied zu dem hier entwickelten Rahmenkonzept, welches eine uneingeschränkte Zufallsauswahl von Beobachtungsorten (mittels einer Zerlegung des Straßennetzes in Abschnitte gleicher Länge) und Erhebungszeitintervallen vorsieht.

Gemäß dem Rahmenkonzept wäre bei einer solchen uneingeschränkten Zufallsauswahl von Beobachtungseinheiten über ganz Deutschland zu erwarten, dass nur ca. 2 % der Standorte auf Autobahnen liegen. Wenn im Hinblick auf die Zielsetzung der Standarderhebung zum Schutzverhalten alle Kategorien des Merkmals Ortslage ausreichend repräsentiert sein sollen, so kann im Rahmen der Stichprobenbildung eine disproportionale Schichtung nach Ortslage durchgeführt werden.

Darüber hinaus ist zu beachten, dass die Genauigkeit auch davon abhängt, wie viele Fahrzeuge im Mittel pro Primäreinheit vorbeifahren. Je höher der Mittelwert, desto weniger Primäreinheiten sind – unter sonst gleichen Bedingungen – notwendig, um dieselbe Genauigkeit zu erzielen. Insofern ist z. B. auf Autobahnen aufgrund der in der Regel

recht hohen Verkehrsstärken eine geringere Anzahl von Beobachtungseinheiten als z. B. auf Landstraßen erforderlich.

Diese Abhängigkeit der Hochrechnungsgenauigkeit von der Verkehrsstärke (relevante Fahrzeug-Vorbeifahrten) hat auch zur Konsequenz, dass bei einer gemeinsamen Erhebung z. B. des Gurnutzungsverhaltens von Erwachsenen und der Sicherung von Kindern die notwendige Anzahl an Beobachtungseinheiten von der kleineren Menge an Untersuchungseinheiten (hier: Vorbeifahrten mit Kindern) bestimmt wird. Insofern ist die Beobachtung von 18.600 Vorbeifahrten zur Ermittlung der Gurtanlagequote von Erwachsenen in den aktuellen Erhebungen sicherlich mehr als ausreichend, allerdings wird dabei eben gleichzeitig die Sicherung von Kindern mit einer sehr viel geringeren Zahl an relevanten Vorbeifahrten beobachtet.

## 9.1 Erhebungsstandorte

### Erhebungsstandorte an Autobahnen

Nach dem Rahmenkonzept sollen – wie das Straßennetz insgesamt – auch die Autobahnen in Abschnitte z. B. der Länge 10 m unterteilt werden. Aus dieser Auswahlgrundlage von Abschnitten kann dann eine uneingeschränkte Zufallsauswahl von Abschnitten vorgenommen werden, welche die Beobachtungsstandorte darstellen. Gerade auf Autobahnen ist dies in der Praxis sicherlich nicht so einfach zu realisieren, da für die Beobachter die Möglichkeit gegeben sein muss, sich weitgehend unauffällig dicht neben den Fahrstreifen aufstellen zu können, was an vielen Stellen nicht machbar sein dürfte. Allerdings kann gerade auf Autobahnen der ursprünglich gewählte Beobachtungsort – zumindest zwischen zwei Anschlussstellen – aus methodischer Sicht ohne weiteres verschoben werden (z. B. auf einen Parkplatz am Rande der Autobahn). Es gibt keinen Grund zur Annahme, dass durch eine solche Verschiebung innerhalb zweier Anschlussstellen irgendwelche Verzerrungen der Ergebnisse zu erwarten sind.

### Erhebungsstandorte an Landstraßen

Unter „Landstraße“ werden alle Außerortsstraßen ohne Autobahnen verstanden. Bei den Standarderhebungen werden Erhebungen an sechs Standorten durchgeführt. Bei der Auswahl wurden Straßen mit sehr schwacher Belastung (z. B. abgelege-

ne Kreisstraßen) nicht berücksichtigt. Generell sollte es möglich sein, Standorte nach dem oben beschriebenen Rahmenkonzept uneingeschränkt zufällig auszuwählen, da an diesen meistens auch eine Beobachtung möglich ist (sofern auf eine genaue Beobachtung der altersgerechten Sicherung von allen Kindern verzichtet wird; siehe hierzu den folgenden Abschnitt).

### Erhebungsstandorte innerorts

Auch hier weicht das praktizierte Vorgehen deutlich vom Rahmenkonzept ab. Es wurden je nach Gebiet systematisch 2 bis 5 Zählstellen ausgewählt, an denen verschiedene Verkehrsarten wie Berufsverkehr (Ziel- und Quellverkehr), Durchgangsverkehr (Fernverkehr) und Cityverkehr (Quelle und Ziel innerorts) und dadurch bedingt unterschiedliche Fahrzeugströme beobachtet werden können.

Bei den Erhebungen innerorts wird auf eine genaue Beobachtung der altersgerechten Sicherung von Kindern Wert gelegt. Dies ist nur bei stehenden bzw. sehr langsam fahrenden Fahrzeugen möglich. Deshalb wird innerorts die Beobachtung im Bereich vor Signalanlagen durchgeführt. Eine Liste aller Signalanlagen innerorts in Deutschland liegt nicht vor. Die angestrebte zufällige Auswahl nach dem Rahmenkonzept ist jedoch entsprechend Kapitel 7.1.2 möglich, indem zunächst mehrere Teilräume (Innerortsbereiche) zufällig ausgewählt werden. In diesen Bereichen müssen dann die signalisierten Zufahrten ermittelt werden, woraus dann die endgültigen Standorte wieder nach dem Zufallsverfahren bestimmt werden können.

## 9.2 Durchführung der Erhebungen und Auswahl der Vorbeifahrten

Auch im Hinblick auf die Auswahl der Vorbeifahrten weicht die derzeit praktizierte Vorgehensweise deutlich von dem Rahmenkonzept ab.

Bei Pkw gibt es auf Autobahnen (Donnerstag) pro Erhebungsgebiet 10 einstündige Beobachtungsintervalle, d. h. insgesamt 60 Intervalle (Sonntag: 5 Intervalle in jedem der 6 Gebiete). In jeder Stunde werden 40 (sonntags 80) Fahrzeuge erfasst und alle zu untersuchenden Merkmale registriert. Anschließend werden 30 (sonntags 40) weitere Fahrzeuge beobachtet, in denen erwachsene Personen im Fond sitzen oder sich Kinder im Fahrzeug befinden, da die Zahl dieser Vorbeifahrten bei den

ersten 40 bzw. 80 beobachteten Fahrzeugen in der Regel gering ist.

Auf der Landstraße werden 20 Beobachtungseinheiten pro Erhebungsgebiet erfasst, d. h. insgesamt 120 Einheiten. Auch hier werden zunächst 40 Fahrzeuge zufällig ausgewählt und anschließend 20 Fahrzeuge mit erwachsenen Fondinsassen und/oder Kindern wie bei der Autobahn.

Im Innerortsbereich werden 15 Einheiten pro Gebiet erfasst, d. h. insgesamt 90 Einheiten. In jeder Einheit werden 100 Fahrzeuge zufällig beobachtet und anschließend 40 weitere Fahrzeuge mit Kindern.

Bei Lkw werden auf der Autobahn 5 Einheiten pro Erhebungsgebiet erfasst, d. h. insgesamt 30 Einheiten. Pro Einheit werden 90 Fahrzeuge zufällig ausgewählt und beobachtet. Auf der Landstraße sind es 3 Einheiten pro Erhebungsgebiet (insgesamt 18 Einheiten). In jeder Einheit werden 100 Fahrzeuge zufällig ausgewählt und (Fahrer und Beifahrer) in beiden Fahrtrichtungen beobachtet.

Ein zentraler Unterschied zum Rahmenkonzept besteht somit darin, dass nicht alle Vorbeifahrten pro Intervall erfasst werden. Vielmehr werden – unabhängig von der jeweiligen Verkehrsstärke – bestimmte pro Intervall zu erfüllende Mengen an zu beobachtenden Fahrzeugen vorgegeben. Ohne Zweifel ist die Erfassung aller Vorbeifahrten für die unterschiedlichen Merkmale (z. B. alle Fahrzeuge mit Beifahrern, alle Fahrzeuge mit Fondinsassen, alle Fahrzeuge mit Kindern) insbesondere auf Autobahnen aufgrund der hohen Geschwindigkeit und des dichten Verkehrs mit einem erheblichen Aufwand verbunden. Hinzu kommt, dass das Sicherheitsverhalten der Insassen bei Fahrzeugen mit getönten Scheiben (diese Anzahl nimmt zu) schlecht zu erkennen ist. Allerdings fehlt beim Verzicht auf diese Information ein zentraler Baustein für die Hochrechnung der Ergebnisse. Gemäß dem Rahmenkonzept sind entweder alle Fahrzeuge während des Erhebungsintervalls zu beobachten oder es ist innerhalb einer Erhebungseinheit ein fester Auswahlatz zu verwenden. Eine „selbstgewichtende“ Stichprobe von Vorbeifahrten erhält man dann, wenn bei jeder Beobachtungseinheit derselbe Auswahlatz (z. B. Beobachtung jedes zweiten Fahrzeugs) verwendet wird.

Insgesamt ist zu sagen, dass beim gegenwärtig praktizierten Verfahren keine Beurteilung der Genauigkeit (Stichprobenfehler) möglich ist, zum einen wegen der bewussten Auswahl der Primär-

einheiten (Erhebungsorte und -zeiten) und zum anderen weil das praktizierte Verfahren der Auswahl von Sekundäreinheiten kein Standardverfahren der Stichprobentheorie darstellt.

### 9.3 Resümee

Insgesamt erscheint es prinzipiell durchaus machbar, die Erhebungen zum Schutzverhalten auf die Methodik des entwickelten Rahmenkonzepts umzustellen. Es ist jedoch nicht zu erwarten, dass die damit verbundene höhere Qualität der Ergebnisse zu denselben Kosten zu haben ist.

Unter Verwendung des in Kapitel 7.1.2 beschriebenen Verfahrens einer mehrstufigen Zufallsauswahl, bei welcher in Stufe 1 einige Teilräume des gesamten Bundesgebiets (Kreise oder andere Gebietseinheiten) ausgewählt werden und auf Stufe 2 eine uneingeschränkte Zufallsauswahl von Beobachtungsorten (Straßenabschnitte, Zufahrten an Signalanlagen) erfolgt, kann die räumliche Streuung der Beobachtungsorte eingeschränkt werden, was sich positiv auf die Erhebungskosten auswirkt. Was jedoch bleibt, ist eine relativ große zeitliche Streuung der Erhebungsintervalle, wenn diese gemäß dem Rahmenkonzept ebenfalls zufällig ausgewählt werden und sich der Untersuchungszeitraum über ein ganzes Jahr erstreckt. Eine „Klumpung“ der Erhebungsintervalle z. B. in 4 zweiwöchige Perioden pro Jahr würde zwar die Kosten reduzieren, andererseits aber auch eine Hochrechnung auf das Gesamtjahr problematisch erscheinen lassen.

Bei den kontinuierlichen Erhebungen zum Schutzverhalten geht es auch um das Aufzeigen von Veränderungen. Hierbei ist es durchaus sinnvoll, die einmal festgelegten Beobachtungseinheiten in den folgenden Jahren beizubehalten<sup>39</sup> (vgl. Kapitel 7.2).

Es könnte lohnend sein, das entwickelte Rahmenkonzept an ausgewählten Elementen der Erhebungen zum Schutzverhalten pilotartig zu testen (z. B. für das Gurtanlageverhalten von Fahrern von Sattelkraftfahrzeugen oder für die Nutzung von Kinderückhaltesystemen).

<sup>39</sup> Für die Beantwortung der Frage, ob sich die Quoten zwischen zwei Zeitpunkten signifikant unterscheiden, stehen entsprechende statistische Teststrategien zur Verfügung. Dabei wird die Hypothese getestet, dass die Differenz zweier korrelierter Verhältniszahlen (wegen gleicher Orte und Zeiten) gleich null ist (vgl. COCHRAN, 1977, S. 180 f.).

## 10 Zusammenfassung und Empfehlungen

### 10.1 Das methodische Rahmenkonzept im Überblick

Vielfach soll durch Verkehrsbeobachtung die Entwicklung des Verkehrsverhaltens im Zeitverlauf aufgezeigt und/oder die Wirksamkeit von Verkehrs-sicherheitsmaßnahmen bewertet werden. Charakteristisch dabei ist, dass bislang für jedes Vorhaben ein eigenes Studiendesign entwickelt wird, obwohl sich die jeweiligen Forschungsfragen trotz ihrer inhaltlichen Vielfalt aus methodischer Sicht auf einige wenige Grundmuster von Aufgabenstellungen reduzieren lassen. Im vorliegenden Forschungsvorhaben geht es deshalb darum, für Erhebungen, bei denen das Verhalten von Verkehrsteilnehmern im fließenden Verkehr beobachtet wird, ein möglichst allgemein anwendbares Design zu entwickeln.

Bei der Verhaltensbeobachtung ist als Merkmals-träger bzw. als atomare Untersuchungseinheit die Vorbeifahrt bzw. Fahrzeug-Vorbeifahrt (Vorbeifahren eines Fahrzeugs an einem Straßenquerschnitt) zu betrachten. In manchen Fällen – z. B. bei Untersuchungen zum Gurttragen – können gegebenenfalls auch Insassen-Vorbeifahrten die Untersuchungseinheiten sein. An den Vorbeifahrten als Untersuchungseinheiten werden bestimmte Untersuchungsmerkmale erhoben wie z. B. „Vorbeifahrt mit/ohne Tagesfahrlicht“, „Vorbeifahrt mit/ohne angelegtem Gurt“ oder „Vorbeifahrt an Stoppschild mit/ohne Anhalten“.

Die Grundgesamtheit einer Verhaltensbeobachtung im Verkehr ist gegeben durch alle im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums auftretenden und im Hinblick auf den Untersuchungsgegenstand relevanten Vorbeifahrten von Fahrzeugen bzw. Fahrzeuginsassen an Straßenquerschnitten. Es handelt sich bei der Grundgesamtheit also um eine Ereignisgesamtheit (und nicht um eine Bestandsgesamtheit). Wie bei jeder Erhebung muss auch der Untersuchungsgegenstand einer Verhaltensbeobachtung – also die interessierenden Vorbeifahrten von Fahrzeugen bzw. deren Insassen – in räumlicher, zeitlicher und sachlicher Hinsicht abgegrenzt werden.

Die räumliche Abgrenzung läuft auf eine exakte Beschreibung des im Erhebungsgebiet zu untersuchenden Netzes bzw. Teilnetzes (ggf. auch der zu untersuchenden Netzelemente) hinaus. Werden

ortsbezogene Verhaltensmerkmale<sup>40</sup> beobachtet, so ist als Grundgesamtheit die Menge der Vorbeifahrten an Querschnitten, die im Hinblick auf das betreffende Verhaltensmerkmal relevante Orte sind, zu betrachten. Beispielsweise sind beim (ortsbezogenen) Merkmal „Blinken beim Verlassen des Kreisverkehrs“ alle Ausfahrten aus Kreisverkehren, die sich im Untersuchungsgebiet befinden, als relevante Straßenquerschnitte zu betrachten. Da im betreffenden Gebiet nur endlich viele Ausfahrten vorhanden sind, ist auch die Zahl der dort stattfindenden Vorbeifahrten – und damit der Umfang der Grundgesamtheit – endlich. Bei ortsunabhängigen Verhaltensmerkmalen wie z. B. Gurttragen kann prinzipiell jeder der unendlich vielen Straßenquerschnitte in einem Gebiet im Hinblick auf das zu beobachtende Verhaltensmerkmal relevant sein. Mit der Zahl der relevanten Querschnitte ist zunächst auch die Zahl der Vorbeifahrten an Querschnitten unendlich. Im vorliegenden Forschungsvorhaben wurde ein methodisches Konzept entwickelt, in dem das Straßennetz eines Untersuchungsgebiets z. B. in Streckenabschnitte der Länge 10 m zerlegt und der Mittelpunkt jedes Abschnitts als relevanter Querschnitt betrachtet wird, an dem während des Untersuchungszeitraums Vorbeifahrten stattfinden können bzw. tatsächlich stattfinden. Dadurch werden auch in diesem Fall die Zahl der relevanten Querschnitte und somit die Grundgesamtheit der Vorbeifahrten endlich.

Die zeitliche Abgrenzung des Untersuchungsgegenstands ist gleichbedeutend mit einer Festlegung der Zeiträume bzw. Zeitabschnitte (z. B. Monate, Wochentage, Tageszeiten), auf welche sich die zu schätzenden Verhaltenskennzahlen (z. B. Fahrleistungsanteil „mit Licht“) beziehen sollen.

In sachlicher Hinsicht muss festgelegt werden, welche Vorbeifahrten in die Erhebung einbezogen werden sollen (wobei natürlich auch Fußgänger Gegenstand einer Verkehrsverhaltensbeobachtung sein können). Hierbei geht es also insbesondere darum zu definieren, welche Fahrzeugarten in der Erhebung berücksichtigt bzw. nicht berücksichtigt werden.

<sup>40</sup> Ortsbezogene Verhaltensmerkmale beziehen sich auf Verhaltensweisen der Verkehrsteilnehmer, die überhaupt nur an ganz bestimmten Punkten im Straßennetz auftreten können bzw. nur an bestimmten Punkten von Interesse sind. So kann z. B. das Verhaltensmerkmal „Beachtung des Stoppschildes ja/nein“ nur an Kreuzungen und Einmündungen mit Stoppschild beobachtet werden.

Bei der Verhaltensbeobachtung geht es insgesamt darum,

- aus der Grundgesamtheit aller Vorbeifahrten eine Stichprobe zu gewinnen,
- die in die Stichprobe gelangten Vorbeifahrten im Hinblick auf das interessierende Verhaltensmerkmal zu beobachten und
- aus den gewonnenen Stichprobendaten die im Hinblick auf das betreffende Verhaltensmerkmal interessierenden Kennzahlen der Grundgesamtheit zu schätzen bzw. hochzurechnen.

Vorbeifahrten entstehen zufällig in Raum und Zeit; es existiert deshalb weder a priori noch a posteriori eine Liste aller Vorbeifahrten eines Gebiets während eines Zeitraums, welche als Auswahlgrundlage für die Ziehung einer einfachen Zufallsstichprobe von Vorbeifahrten dienen könnte. Wie in solchen Fällen üblich, muss bei der Stichprobenziehung also auf ein Klumpenstichprobenverfahren zurückgegriffen werden.

### Einstufige Klumpenauswahl

Bei diesem Auswahlverfahren werden die Vorbeifahrten bzw. Insassen-Vorbeifahrten nicht unabhängig voneinander, sondern als Klumpen erhoben. Konkret bedeutet dies, dass aus der Gesamtheit aller möglichen Kombinationen von Straßenquerschnitten und Zeitintervallen eine Stichprobe von Primäreinheiten gezogen wird. Man geht hier von der Vorstellung aus, dass das Untersuchungsgebiet  $N$  relevante Straßenquerschnitte umfasst und der Untersuchungszeitraum in  $T$  Zeitintervalle zerlegt ist. Die Menge der  $NT$  Kombinationen von Beobachtungsorten und Beobachtungszeitintervallen stellt dann die Auswahlgesamtheit für die Ziehung einer Klumpenstichprobe dar.

Wenn an den ausgewählten Kombinationen von Orten und Zeiten alle dort auftretenden Vorbeifahrten (Sekundäreinheiten) beobachtet werden, so liegt eine einstufige Klumpenauswahl vor.

Beispiel einer bundesweiten Erhebung: Es seien das Untersuchungsgebiet durch das Straßennetz der Bundesrepublik Deutschland und der Untersuchungszeitraum durch ein bestimmtes Kalenderjahr gegeben. Repräsentiert ein Straßenquerschnitt jeweils einen Streckenabschnitt der Länge 10 Meter und definiert man Zeitintervalle von jeweils 1 Stun-

de, so resultiert daraus eine Auswahlgesamtheit mit  $NT = 564$  Mrd. Primäreinheiten bzw. Klumpen (64,4 Mio. Streckenabschnitte mal 8.760 Stunden). Aus dieser sehr großen Auswahlgesamtheit ist dann eine Stichprobe von Primäreinheiten, also Kombinationen von Erhebungsorten und Stundenintervallen, zu ziehen. Möglich ist auch ein gestaffeltes Vorgehen:

- Aus der Gesamtheit der möglichen Beobachtungsorte werden zunächst  $n$  Punkte uneingeschränkt zufällig mit Zurücklegen gezogen.
- Der Untersuchungszeitraum ist in Zeitintervalle der gewünschten Länge (z. B. 1 Stunde) einzuteilen. Aus der resultierenden Menge werden dann  $n$  Zeitintervalle uneingeschränkt zufällig mit Zurücklegen gezogen.
- Kombiniert man die ausgewählten Beobachtungsorte mit den ausgewählten Zeitintervallen (z. B. indem man den ersten Beobachtungsort mit dem ersten Zeitintervall, den zweiten Beobachtungsort mit dem zweiten Zeitintervall usw. der jeweiligen Stichproben verknüpft), so erhält man die Stichprobe der  $n$  Beobachtungseinheiten.

### Zweistufige Zufallsauswahl

Falls es aufgrund der Komplexität des Untersuchungsmerkmals nicht möglich ist, jede Vorbeifahrt (Sekundäreinheit) entsprechend zu beobachten, muss, wie bei Stichproben aus Ereignisgesamtheiten allgemein üblich, eine Schrittweite festgelegt werden, gemäß der die Vorbeifahrten in die Stichprobe (Sekundärauswahl) einbezogen werden; die Schrittweite  $k$  (z. B.  $k = 5$ , d. h. Beobachtung jeder fünften Vorbeifahrt) kann dabei in Abhängigkeit der ausgewählten Primäreinheit bestimmt werden.

Das eben beschriebene Verfahren entspricht einer zweistufigen Auswahl, wobei die Primäreinheiten durch die Kombinationen von Beobachtungsorten und -zeiten und die Sekundäreinheiten durch die zugeordneten Vorbeifahrten gegeben sind. Als Auswahlverfahren auf der zweiten Stufe ist die systematische Zufallsauswahl zu verwenden. Unabhängig von der Schrittweite muss bei der Erhebung stets die Anzahl der Vorbeifahrten insgesamt je ausgewählter Primäreinheit festgehalten werden.

## Hochrechnungsverfahren

Das statistische Verfahren zur Hochrechnung (Punkt- und Intervallschätzung) der bei einer Verhaltensbeobachtung interessierenden Kennzahlen ist in den Kapiteln 4 und 6 beschrieben. Dort findet sich auch eine Typologie von Kennzahlen aus Verhaltensbeobachtungen, wobei zwischen Kennzahlen für ereignisbezogene und zustandsbeschreibende Verhaltensmerkmale unterschieden wird.

Unter einem „Ereignis“ wird dabei ganz allgemein ein Fahrmanöver verstanden, d. h. eine Bewegung, die mit einem Fahrzeug ausgeführt wird. Beispiele für solche Manöver sind „Verlassen eines Kreisverkehrs“ oder „Wechsel des Fahrstreifens“. Das im Zusammenhang mit diesen Manövern<sup>41</sup> interessierende ereignisbezogene Verhaltensmerkmal ist „Blinken ja/nein“. Die zu schätzende Kennzahl ist entsprechend der Anteil  $P$  der „positiven“ Ereignisse, hier also der Anteil der Fahrstreifenwechsel, bei denen der Fahrer korrekterweise blinkt. Wie eine Kennzahl dieser Art zu schätzen ist, hängt davon ab, ob die betreffenden Ereignisse nur an bestimmten Orten im Straßennetz oder an jeder beliebigen Stelle im Netz auftreten können.

Treten die untersuchungsrelevanten Ereignisse nur an ganz bestimmten Orten auf (z. B. Verlassen des Kreisverkehrs), so kann das interessierende Verkehrsverhalten selbstverständlich nur an Orten des betreffenden Typs beobachtet werden. Die Menge der möglichen Beobachtungsorte kann in diesem Fall auf die Gesamtheit aller Ausfahrten aus Kreisverkehren im Untersuchungsgebiet eingeschränkt werden. An den ausgewählten Beobachtungsorten wird während der ausgewählten Beobachtungszeiten registriert, wie viele Fahrzeuge den Kreisverkehr an der betreffenden Ausfahrt verlassen haben (Ereignisse insgesamt) und wie häufig dabei geblinkt worden ist (positive Ereignisse).

Wenn die untersuchungsrelevanten Ereignisse an jeder beliebigen Stelle im Netz auftreten können (z. B. Wechsel des Fahrstreifens), so muss bei der Abgrenzung der Menge der möglichen Beobachtungsorte vom Konzept der Zerlegung des Gesamtnetzes in einzelne kleine Streckenabschnitte ausgegangen werden. Beobachtet wird dann, wie viele

Ereignisse der jeweiligen Art auf den ausgewählten Abschnitten in den ausgewählten Zeitintervallen insgesamt eingetreten sind und wie häufig dabei das interessierende Verhalten gezeigt wurde. Als Beispiel kann hier dienen, wie häufig beim Wechsel des Fahrstreifens (Ereignisse insgesamt) geblinkt wurde (positive Ereignisse).

Zustandsbeschreibende Verhaltensmerkmale charakterisieren nicht das Verhalten des Fahrers oder der Insassen bei einzelnen (diskreten) Ereignissen oder Manövern, sondern vielmehr das Verhalten während der Fahrt insgesamt. Im Fahrtverlauf sind dabei in aller Regel Verhaltensänderungen, d. h. Änderungen der Merkmalsausprägung bzw. Übergänge von einem Zustand in einen anderen, möglich. Bei aufeinander folgenden Vorbeifahrten ein und desselben Fahrzeugs an verschiedenen Straßenquerschnitten kann ein zustandsbeschreibendes Verhaltensmerkmal also unterschiedliche Ausprägungen besitzen.

Zustandsbeschreibende Verhaltensmerkmale sind meist kategoriell, können aber auch metrisch sein. So ist z. B. „Fahren mit Tagesfahrlicht (ja/nein)“ ein kategorielles zustandsbeschreibendes Verhaltensmerkmal. Beispiele für metrische Merkmale aus der Klasse der zustandsbeschreibenden Verhaltensmerkmale sind „Fahrgeschwindigkeit in km/h“ und „Zahl der Fahrzeuginsassen“.

Bei der Untersuchung zustandsbeschreibender Merkmale im Rahmen einer Verhaltensbeobachtung ist immer nach dem Konzept der Zerlegung des Gesamtnetzes in Streckenabschnitte gleicher Länge vorzugehen. Aus einer Verhaltensbeobachtung lassen sich dann bezogen auf das betreffende Untersuchungsgebiet und den betreffenden Untersuchungszeitraum Kennzahlen der folgenden Art schätzen:

- Anteil  $Q_L$  der mit Tagesfahrlicht zurückgelegten Fahrzeugkilometer an der Summe aller Fahrzeugkilometer.

Der Fahrleistungsanteil  $Q_L$  (Fahren mit Tagesfahrlicht) wird im Fall der einstufigen Klumpenstichprobe geschätzt durch die auf Stichprobenbasis berechnete Verhältniszahl

$$\frac{y}{x},$$

wobei

$y$  die Zahl der registrierten Vorbeifahrten mit eingeschaltetem Tagesfahrlicht und

<sup>41</sup> Das ereignisbezogene Merkmal „Blinken beim Verlassen eines Kreisverkehrs“ ist ortsbezogen, das ebenfalls ereignisbezogene Merkmal „Blinken beim Wechsel des Fahrstreifens“ dagegen ortsunabhängig.



$x$  die Zahl aller registrierten Fahrzeug-Vorbeifahrten

bezeichnen.

- Mittlere Reisegeschwindigkeit  $\mu_v$  der Fahrzeuge im Netz

Aus einer stichprobenartigen Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr kann im Fall der einstufigen Klumpenauswahl von Primäreinheiten die mittlere Reisegeschwindigkeit  $\mu_v$  durch die Verhältniszahl

$$\frac{x}{a}$$

geschätzt werden, wobei

$a$  die Summe der Kehrwerte der gemessenen Geschwindigkeiten und

$x$  die Zahl aller registrierten Fahrzeug-Vorbeifahrten

bezeichnen.

- Mittlerer Besetzungsgrad  $R_B$  der Fahrzeuge (Verhältnis zwischen Summe der Insassenkilometer und Summe der Fahrzeugkilometer).

Auf Stichprobenbasis kann im Fall der einstufigen Klumpenstichprobe der Besetzungsgrad  $R_B$  durch die Verhältniszahl

$$\frac{z}{x}$$

geschätzt werden, wobei

$z$  die Zahl der registrierten Insassen-Vorbeifahrten und

$x$  die Zahl der registrierten Fahrzeug-Vorbeifahrten

bezeichnen.

## 10.2 Empfehlungen zur Umsetzung

Für das entwickelte Rahmenkonzept zur Verkehrsverhaltensbeobachtung wurde ein aus sechs Schritten bestehender „Leitfaden“ erarbeitet, der als grober Orientierungsrahmen für das konkrete Vorgehen bei Beobachtungsstudien dienen kann.

### Schritt 1: Abgrenzung des Untersuchungsgegenstands

Wie bei jeder Erhebung muss zunächst der Untersuchungsgegenstand einer Verhaltensbeobach-

tung – also die interessierenden Vorbeifahrten von Fahrzeugen bzw. deren Insassen – in räumlicher, zeitlicher und sachlicher Hinsicht abgegrenzt werden.

Die räumliche Abgrenzung läuft auf eine exakte Beschreibung des im Erhebungsgebiet zu untersuchenden Netzes bzw. Teilnetzes (ggf. auch der zu untersuchenden Netzelemente) hinaus.

Die zeitliche Abgrenzung des Untersuchungsgegenstands ist gleichbedeutend mit einer Festlegung der Zeiträume bzw. Zeitabschnitte (z. B. Monate, Wochentage, Tageszeiten), auf welche sich die zu schätzenden Verhaltenskennzahlen (z. B. Fahrleistungsanteil „mit Licht“) beziehen sollen. So kann z. B. das Verhaltensmerkmal „Fahren mit/ ohne Tagesfahrlicht“ logischerweise nur bei Helligkeit erhoben werden. Je nach Jahreszeit – und im Übrigen auch je nach geografischer Lage des Erhebungsgebiets – kann somit die täglich zur Verfügung stehende Beobachtungsdauer variieren. Wie auch hinsichtlich des Untersuchungsgebiets sind die Beobachtungsergebnisse nur für den entsprechenden Untersuchungszeitraum gültig. So können z. B. werktägliche Erhebungen zur Gurnutzung nicht verwendet werden, um für das Verkehrsaufkommen an Wochenenden den mit Gurt zurückgelegten Fahr- bzw. Verkehrsleistungsanteil zu schätzen.

In sachlicher Hinsicht muss festgelegt werden, welche Vorbeifahrten in die Erhebung einbezogen werden sollen (wobei natürlich auch Fußgänger Gegenstand einer Verkehrsverhaltensbeobachtung sein können). Hierbei geht es also insbesondere darum zu definieren, welche Fahrzeugarten in der Erhebung berücksichtigt bzw. nicht berücksichtigt werden (z. B. keine schweren Lkw, keine Mofas, keine landwirtschaftlichen Fahrzeuge etc.).

### Schritt 2: Auswahl der Beobachtungsorte

Für eine Zufallsauswahl von Beobachtungsorten muss zunächst für das in Schritt 1 abgegrenzte Gebiet eine Liste aller potenziellen Beobachtungsorte (Auswahlgrundlage) erstellt werden. Bei der Erhebung ortsbezogener Verhaltensmerkmale handelt es sich in der Regel um eine abgrenzbare Menge von Verkehrsinfrastruktureinrichtungen (z. B. Knotenpunkte, Kreisverkehre), die ggf. aus vorhandenen Straßendatenbanken separiert werden kann. Im Falle einer sehr kleinräumigen Studie ist es natürlich auch denkbar, die Auswahlgrundlage „von Hand“ durch systematisches Begehen oder Befah-

ren des Gebietes mit entsprechender Aufzeichnung der relevanten Knotenpunkte etc. zu erstellen. Ortsunabhängige Verhaltensmerkmale (z. B. Gurt-nutzung) können dagegen an jedem beliebigen Straßenquerschnitt beobachtet werden. Zur Generierung einer Auswahlgrundlage kann das oben ange-deutete Verfahren einer Zerlegung des Straßennetzes in etwa gleich lange Teilabschnitte verwendet werden.

Hat man eine geeignete Liste von  $N$  potenziellen Beobachtungsorten, so muss eine Stichprobe von  $n$  Orten nach dem Muster einer Zufallsauswahl mit Zurücklegen gezogen werden. Dabei kann so vorgegangen werden, dass zunächst eine Datei erzeugt wird, in der jedes Element der Grundgesamtheit  $n$ -mal enthalten ist. Jeder der  $n \times N$  Datenzeilen wird dann eine Zufallszahl zugewiesen, nach welcher der Datensatz anschließend zu sortieren ist. Die Stichprobe besteht dann aus den ersten  $n$  Beobachtungen des sortierten Datensatzes. Das heißt, dass ein Beobachtungsort mehrfach in die Stichprobe gelangen kann (Auswahl mit Zurücklegen) und in diesem Fall auch mehrfach (nämlich zu verschiedenen Zeiten) zu erheben ist.

Bei bundesweiten Studien mit Straßenquerschnitten als Auswahlgrundlage kann auch mehrstufig vorgegangen werden, indem zunächst einige Teilräume des Untersuchungsgebiets (z. B. Kreise oder andere Gebietseinheiten) ausgewählt werden und dann innerhalb der entsprechenden Teilräume die Auswahl der Beobachtungsorte stattfindet.

Lässt sich die Gesamtheit der möglichen Beobachtungsorte nach bestimmten Merkmalen in disjunkte Schichten zerlegen (z. B. bei Knoten nach Ortslage oder bei Straßenquerschnitten nach Straßenklasse), so kann eine geschichtete Zufallsauswahl vorgenommen werden. Der eben geschilderte Auswahlprozess ist dann innerhalb jeder einzelnen Schicht vorzunehmen. Eine Schichtung erbringt bekanntermaßen dann eine höhere Genauigkeit der Ergebnisse, wenn das Untersuchungsmerkmal (z. B. Tagesfahrlicht) stark mit dem Schichtungsmerkmal (z. B. Straßenklasse) korreliert.

### Schritt 3: Auswahl der Beobachtungszeiten

Für die Auswahl der Beobachtungszeiten ist zunächst der gesamte Untersuchungszeitraum in Zeitintervalle gleicher Länge (z. B. 1 oder 2 Stunden – dies kann auch vom Verkehrsaufkommen abhängig gemacht werden) zu zerlegen.

Umfasst ein 4-wöchiger Untersuchungszeitraum (28 Tage) z. B. jeweils die Tageszeiten zwischen 9:00 Uhr und 17:00 Uhr (8 Stunden), so hat man es mit einem Untersuchungszeitraum der Länge  $28 \times 8 = 224$  Stunden zu tun. Wird nun an jedem Tag der maßgebliche Zeitraum (9:00 bis 17:00 Uhr) in 4 Zeitintervalle à 2 Stunden unterteilt, so untergliedert sich der gesamte Untersuchungszeitraum in  $T = 112$  Zeitintervalle. Aus einer Liste dieser  $T$  Intervalle ist dann eine Zufallsauswahl (mit Zurücklegen) von  $n$  Intervallen vorzunehmen. In Bezug auf die Ziehungsmethodik kann dabei ganz analog zur Vorgehensweise bei der Auswahl der Orte verfahren werden.

Kombiniert man die ausgewählten  $n$  Beobachtungsorte mit den ausgewählten  $n$  Beobachtungszeitintervallen (z. B. indem man den ersten Beobachtungsort mit dem ersten Zeitintervall, den zweiten Beobachtungsort mit dem zweiten Zeitintervall usw. verknüpft), so erhält man die benötigte Stichprobe der  $n$  Erhebungseinheiten. Die Frage, wie viele Beobachtungseinheiten zur Erreichung einer bestimmten Schätzgenauigkeit auszuwählen sind, lässt sich nicht pauschal beantworten, da dies vom jeweiligen Untersuchungsmerkmal bzw. dessen Streuung abhängt.

Innerhalb der so bestimmten Erhebungseinheiten (Kombinationen von Beobachtungsort und -zeit) sollten dann nach Möglichkeit alle vorbeifahrenden Fahrzeuge beobachtet werden. Zulässig ist es jedoch auch, nach dem Prinzip einer systematischen Zufallsauswahl nur bei jeder  $k$ -ten Fahrzeugvorbeifahrt das Untersuchungsmerkmal zu erheben.

### Schritt 4: Bereitstellung technischer Hilfsmittel und Beobachterschulung

Eine ausführliche Unterweisung der Beobachter ist wichtig, um einen hohen Grad an Standardisierung zu erreichen. Aussagefähige Ergebnisse sind nur dann zu erhalten, wenn man sich sicher sein kann, dass alle Beobachter bei der Merkmalerfassung in identischer Weise vorgehen.

Im Vorfeld der Erhebungsdurchführung und der Beobachterschulung müssen zunächst einmal alle notwendigen Materialien, Hilfsmittel und – sofern erforderlich – technischen Geräte in ausreichender Zahl zur Verfügung stehen. Dies betrifft z. B. Beobachtungsprotokolle (Datenformulare) bzw. technische Erfassungshilfen wie z. B. PDA, Uhren, eine Karte des Untersuchungsgebiets mit eingezeichneten

ten Beobachtungsstandorten, eine Liste aller Beobachtungsorte (innerorts mit „Adresse“), Warnwesten und ggf. technische Geräte zur Datenerhebung (Handzählgeräte, Kamera, Video, Nachtsichtgeräte) inkl. Bedienungsanleitung.

Die eigentliche Schulung sollte im Idealfall aus einem theoretischen und einem praktischen Teil bestehen. Im theoretischen Teil sollte der Erhebungsablauf detailliert durchgesprochen und das korrekte Ausfüllen der entsprechenden Formblätter (bzw. die elektronische Erfassung) erläutert werden. Generell müssen im Fall des Einsatzes technischer Gerätschaften natürlich entsprechende Einweisungen stattfinden. Weiterhin sind die Beobachter auf mögliche Gefahren aufmerksam zu machen und müssen auf eventuell auftretende Probleme (z. B. schlechtes Wetter und damit möglicherweise verbundene Sichteinschränkungen oder Sichtbehinderungen durch getönte Scheiben bei der Beobachtung des Fahrzeuginnenraums) durch entsprechende Handlungsanweisungen vorbereitet werden. Darüber hinaus ist darauf hinzuwirken, dass Beobachter hinsichtlich des äußeren Erscheinungsbildes so auftreten, dass sie nicht mit Verkehrsüberwachungspersonal verwechselt werden, da sich dies auf das Verhalten der zu beobachtenden Personen auswirken kann.

Im praktischen Teil der Schulung sollte von jedem Beobachter unter entsprechender Anleitung bzw. Überwachung der gesamte Prozess der Beobachtung an einer realistischen Beobachtungsstelle durchgespielt werden.

### **Schritt 5: Durchführung der Beobachtung**

Im Vorfeld der Erhebung sind in der Regel zunächst Vorbereitungen organisatorisch-administrativer Art zu treffen. Dies umfasst z. B. das Einholen behördlicher Genehmigungen (z. B. für das Abstellen von Beobachter-Fahrzeugen auf Autobahnbrücken) oder – insbesondere beim Einsatz von Videokameras – die Berücksichtigung datenschutzrechtlicher Aspekte. In jedem Fall empfiehlt es sich, die Polizei über Zeit und Ort der Beobachtung zu informieren. Darüber hinaus ist für die ausgewählten Beobachtungsorte im Vorhinein zu prüfen, ob die erforderlichen Rahmenbedingungen für die Durchführung der Beobachtung gegeben sind. Hierbei spielt natürlich die Sicherheit der Beobachter eine zentrale Rolle.

Erweist sich ein Standort als gänzlich ungeeignet, sollte die Erhebung an einem im Vorhinein zufällig

ausgewählten Reservepunkt stattfinden. Bei der Beobachtung ortsunabhängiger Merkmale (z. B. Gurtnutzung, Tagesfahrlicht) kann – sofern sich in unmittelbarer Nähe des eigentlich ausgewählten Straßenabschnitts ein geeigneter Standort findet – der ursprünglich (zufällig) gewählte Beobachtungspunkt etwas verschoben werden. Allerdings sollte die Verschiebung nicht so weit gehen, dass dadurch in größerem Umfang Verkehrsströme hinzukommen bzw. wegfallen.

Bei ortsunabhängigen Verhaltensmerkmalen sollten entweder beide Fahrtrichtungen gleichzeitig erhoben oder grundsätzlich immer nur eine Fahrtrichtung (zufällig) ausgewählt werden. Aus statistischer Sicht ist dagegen nicht zu empfehlen, beide Fahrtrichtungen zeitlich versetzt (nacheinander) zu beobachten. Darüber hinaus muss noch entschieden werden, ob bei mehrspurigen Straßen alle Fahrstreifen beobachtet werden oder nur ein Fahrstreifen zufällig ausgewählt wird.

Analog ist bei der Erhebung ortsbezogener Verhaltensmerkmale an Knotenpunkten ein Standort (Knotenarm) zufällig auszuwählen, sofern – z. B. aus Kapazitätsgründen – nicht alle Knotenarme gleichzeitig erhoben werden können. Die Verhaltensbeobachtung selbst kann per Augenschein oder apparativ, also unter Verwendung elektronischer Aufzeichnungsgeräte (Video), vorgenommen werden. Allerdings kann es bei Videobeobachtungen zu Fehlreaktionen der beobachteten Verkehrsteilnehmer kommen, weil die Beobachtung eventuell als Geschwindigkeitsmessung oder dergleichen fehlinterpretiert wird, was unter methodischen und insbesondere unter Verkehrssicherheitsaspekten problematisch ist. Um das Verhalten der Verkehrsteilnehmer nicht zu beeinflussen und vor allem um keine gefährlichen Verkehrssituationen oder gar Unfälle heraufzubeschwören, sollte die Beobachtung des fließenden Verkehrs so weit als möglich verdeckt vorgenommen werden.

Die Erfassung des Beobachteten kann entweder per Hand über entsprechende Datenformulare oder unter Zuhilfenahme elektronischer „Registrierhilfen“ erfolgen. In jedem Erhebungszeitintervall müssen die Zahl der (untersuchungsrelevanten) Fahrzeuge insgesamt sowie die Zahl der Fahrzeuge mit der jeweils interessierenden „positiven“ Ausprägung (z. B. Licht an, Gurt angelegt etc.) erfasst werden. Die Erfassung der Gesamtzahl der Vorbeifahrten ist im Übrigen auch dann erforderlich, wenn nur jede

$k$ -te Vorbeifahrt im Hinblick auf das Verhaltensmerkmal beobachtet wird.

Darüber hinaus sollten in jedem Fall noch Datum und Uhrzeit, der Name des Beobachters sowie Angaben zur Beobachtungsstelle (z. B. Bauarbeiten) und zum Beobachtungszeitintervall (z. B. Witterungsverhältnisse) dokumentiert werden.

### Schritt 6: Auswertung und Interpretation der Ergebnisse

In vielen Fällen hat das in Beobachtungsstudien untersuchte Verhaltensmerkmal nur zwei Ausprägungen. Durch Verhaltensbeobachtung an ausgewählten Orten während ausgewählter Zeitintervalle wird deshalb in der Regel eine empirische Quote ermittelt, beispielsweise die Quote der Fahrzeug-Vorbeifahrten mit Tagesfahrlicht.

Diese Quote wird aus den Einzeldaten der Stichprobe so berechnet, dass die Gesamtzahl der Vorbeifahrten mit eingeschaltetem Licht (Summe über alle Beobachtungsorte und -zeitintervalle) ins Verhältnis gesetzt wird zur Gesamtzahl aller beobachteten Vorbeifahrten – auch hier wieder zu verstehen als Summe über alle Erhebungseinheiten. Es handelt sich bei der aus den Stichprobendaten zu berechnenden Quote also um das Verhältnis zweier Stichprobentotalwerte und nicht etwa um den Mittelwert der Quoten für die einzelnen Ort/Zeit-Kombinationen in der Stichprobe.

## Literatur

- ADAC (Hrsg.) (2009): Fakten aus dem Verkehrsreich, Ausgabe 2009. München: ADAC e. V., Ressort Verkehr
- ATTESLANDER, P. (2003): Methoden der empirischen Sozialforschung, 10. Aufl., Berlin, New York: de Gruyter
- BARNETT, V. (1991): Sample Survey Principles and Methods. London: Edward Arnold
- BORTZ, J. & DÖRING, N. (1995): Forschungsmethoden und Evaluation, 2. Aufl., Berlin: Springer
- COCHRAN, W. G. (1977): Sampling Techniques, 3<sup>rd</sup> Edition. New York: Wiley
- CRUMP, C. E., BOWLING, J. M. & CANNON, M. M. (2005): Observational Seat Belt Survey Protocol

Development Project. National Injury Prevention and Control Conference, Denver, Colorado

Department of health and human services USA et al. (Hrsg.) (2005): Injury and Violence in America. 2005 National Injury Prevention and Control Conference, May, 2005, Denver, Colorado (Abstract Book)

EBY, D. W. & STREFF, F. M. (1994): How to Conduct a Safety Belt Survey: A Step by Step Guide. Ann Arbor: The University of Michigan Transportation Research Institute

GDV (Hrsg.) (2008): Verbesserung der Verkehrssicherheit in Münster. Berlin: Unfallforschung der Versicherer

HAKKERT, A. S. & GITELMAN, V. (Hrsg.) (2007): Road Safety Performance Indicators: Manual. Deliverable D3.8 of the EU FP6 Project SafetyNet

HARTUNG, J. (1989): Statistik. Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik, 7., durchgesehene Aufl. München, Wien: Oldenbourg

Ingenieurbüro für Verkehrstechnik (2000): Kompendium Sicherung durch Gurte, Helme und andere Schutzsysteme. Bergisch Gladbach

Ingenieurbüro Siegener – Verkehrstechnik (2008): Kompendium Kontinuierliche Erfassung der Lichteinschaltquoten am Tag von Kraftfahrzeugen in Deutschland ab 2007. Karlsruhe

Ingenieurbüro Siegener – Verkehrstechnik (2009): Kontinuierliche Erfassung der Lichteinschaltquoten am Tag von Kraftfahrzeugen in Deutschland ab 2007. Schlussbericht zum Forschungsprojekt 82.313/2006 der Bundesanstalt für Straßenwesen. Bergisch Gladbach

KORDA, C.: (1999): Quantifizierung von Kriterien für die Bewertung der Verkehrssicherheit mit Hilfe digitalisierter Videobeobachtungen, Diss., TU Darmstadt

KROMREY, H. (1994): Empirische Sozialforschung – Methoden und Modelle der Datenerhebung und Datenauswertung, 6. Aufl., Opladen: Leske + Budrich

LIMBOURG, M. (2005): Forschungsmethoden: Verhaltensbeobachtung. Unveröffentlichtes Manuskript

- NHTSA (2009): Seat Belt Use in 2009 – Overall Results. National Center for Statistics and Analysis, Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration, September 2009, DOT HS 811 100
- PFEIFFER, M. & KOPPERSCHLÄGER, D. (2006): Kenntnis des Verkehrsteilnehmers über die StVO und sein Verkehrsverhalten. Schlussbericht zum BAST-Forschungsprojekt Nr. 82.0266/2004. Mannheim: IVT
- RICHARDSON, A. J., AMPT, E. S. & MEYBURG, A. H. (1995): Survey Methods for Transport Planning. Melbourne: Eucalyptus Press
- SEUFERT, R. L., KUBILIUS, K. A., WALTON, A. J. & NEWTON, T. D. (2008): Observational Survey of Seat Belt Use in Ohio 2008. Miami University: Applied Research Center
- STEIERWALD, G., KÜNNE, H. D. & VOGT, W. (Hrsg.) (2005): Stadtverkehrsplanung. Grundlagen, Methoden, Ziele, 2., neu bearb. und erw. Aufl. Berlin: Springer
- TAYLOR, M. A. P., YOUNG, W. & BONSALL, P. W. (1996): Understanding Traffic Systems. Data, Analysis and Presentation. Aldershot: Avebury Technical
- Transport Canada (Hrsg.) (2006): Transport Canada's Surveys of Seat Belt Use in Canada 2004-2005. Fact Sheet TP 2436E

## Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt  
für Straßenwesen

## Unterreihe „Mensch und Sicherheit“

## 2005

- M 165: Förderung der Verkehrssicherheit durch differenzierte Ansprache junger Fahrerinnen und Fahrer  
Hoppe, Tekaat, Woltring € 18,50
- M 166: Förderung des Helmtragens Rad fahrender Kinder und Jugendlicher – Analyse der Einflussfaktoren der Fahrradhelmnutzung und ihrer altersbezogenen Veränderung  
Schreckenber, Schlittmeier, Ziesenitz € 16,00
- M 167: Fahrausbildung für Behinderte  
Zawatzky, Dorsch, Langfeldt, Lempp, Mischau € 19,00
- M 168: Optimierung der Fahrerlaubnisprüfung – Ein Reformvorschlag für die theoretische Fahrerlaubnisprüfung  
Bönninger, Sturzbecher € 22,00
- M 169: Risikoanalyse von Massenanfällen bei Nebel  
Debus, Heller, Wille, Dütschke, Normann, Placke, Wallentowitz, Neunzig, Benmimoun € 17,00
- M 170: Integratives Konzept zur Senkung der Unfallrate junger Fahrerinnen und Fahrer – Evaluation des Modellversuchs im Land Niedersachsen  
Stiensmeier-Pelster € 15,00
- M 171: Kongressbericht 2005 der Deutschen Gesellschaft für Verkehrsmedizin e. V. – 33. Jahrestagung € 29,50
- M 172: Das Unfallgeschehen bei Nacht  
Lerner, Albrecht, Evers € 17,50
- M 173: Kolloquium „Mobilitäts-/Verkehrserziehung in der Sekundarstufe“ € 15,00
- M 174: Verhaltensbezogene Ursachen schwerer Lkw-Unfälle  
Evers, Auerbach € 13,50

## 2006

- M 175: Untersuchungen zur Entdeckung der Drogenfahrt in Deutschland  
Iwersen-Bergmann, Kauert € 18,50
- M 176: Lokale Kinderverkehrssicherheitsmaßnahmen und -programme im europäischen Ausland  
Funk, Faßmann, Zimmermann, unter Mitarbeit von Wasilewski, Eilenberger € 15,00
- M 177: Mobile Verkehrserziehung junger Fahranfänger  
Krampe, Großmann € 15,50
- M 178: Fehlerhafte Nutzung von Kinderschutzsystemen in Pkw  
Fastenmeier, Lehnig € 15,00
- M 179: Geschlechtsspezifische Interventionen in der Unfallprävention  
Kleinert, Hartmann-Tews, Combrink, Allmer, Jüngling, Lobinger € 17,50
- M 180: Wirksamkeit des Ausbildungspraktikums für Fahrlehreranfänger  
Friedrich, Brünken, Debus, Leutner, Müller € 17,00
- M 181: Rennspiele am Computer: Implikationen für die Verkehrssicherheitsarbeit – Zum Einfluss von Computerspielen mit Fahrzeugbezug auf das Fahrverhalten junger Fahrer  
Vorderer, Klimmt € 23,00

M 182: Cannabis und Verkehrssicherheit – Mangelnde Fahreignung nach Cannabiskonsum: Leistungsdefizite, psychologische Indikatoren und analytischer Nachweis  
Müller, Topic, Huston, Strohbeck-Kühner, Lutz, Skopp, Aderjan € 23,50 -

M 183: Hindernisse für grenzüberschreitende Rettungseinsätze  
Pohl-Meuthen, Schäfer, Gerigk, Moecke, Schlechtriemen € 17,50 -

## 2007

- M 184: Verkehrssicherheitsbotschaften für Senioren – Nutzung der Kommunikationspotenziale im allgemeinmedizinischen Behandlungsalldag  
Kocherscheid, Rietz, Poppelreuter, Riest, Müller, Rudinger, Engin € 18,50 -
- M 185: 1<sup>st</sup> FERSI Scientific Road Safety Research-Conference  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden € 24,00
- M 186: Assessment of Road Safety Measures  
Erstellt im Rahmen des EU-Projektes ROSEBUD (Road Safety and Environmental Benefit-Cost and Cost-Effectiveness Analysis for Use in Decision-Making) € 16,00
- M 187: Fahrerlaubnisbesitz in Deutschland  
Kalinowska, Kloas, Kuhfeld € 15,50
- M 188: Leistungen des Rettungsdienstes 2004/05 – Analyse des Leistungsniveaus im Rettungsdienst für die Jahre 2004 und 2005  
Schmiedel, Behrendt € 15,50

## 2008

- M 189: Verkehrssicherheitsberatung älterer Verkehrsteilnehmer – Handbuch für Ärzte  
Henning € 15,00
- M 190: Potenziale zur Verringerung des Unfallgeschehens an Haltestellen des ÖPNV/ÖPSV  
Baier, Benthaus, Klemp, Schäfer, Maier, Enke, Schüller € 16,00 -
- M 191: ADAC/BASt-Symposium "Sicher fahren in Europa" – Referate des Symposiums vom 13. Oktober 2006 in Baden-Baden  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden. € 24,00
- M 192: Kinderunfallatlas  
Neumann-Opitz, Bartz, Leipnitz € 14,50
- M 193: Alterstypisches Verkehrsrisiko  
Schade, Heinzmann € 14,50
- M 194: Wirkungsanalyse und Bewertung der neuen Regelungen im Rahmen der Fahrerlaubnis auf Probe  
Debus, Leutner, Brünken, Skottke, Biermann € 14,50
- M 195: Kongressbericht 2007 der Deutschen Gesellschaft für Verkehrsmedizin (DGVM e.V.) – zugleich 50-jähriges Jubiläum der Fachgesellschaft DGVM – 34. Jahrestag € 28,00
- M 196: Psychologische Rehabilitations- und Therapiemaßnahmen für verkehrsauffällige Kraftfahrer  
Follmann, Heinrich, Corvo, Mühlensiep, Zimmermann, Klipp, Bornewasser, Glitsch, Dünkel € 18,50 -
- M 197: Aus- und Weiterbildung von Lkw- und Busfahrern zur Verbesserung der Verkehrssicherheit  
Frühauf, Roth, Schyulla € 15,50
- M 198: Fahreignung neurologischer Patienten – Untersuchung am Beispiel der hepatischen Enzephalopathie  
Knoche € 15,00

## 2009

- M 199: Maßnahmen zur Verbesserung der visuellen Orientierungsleistung bei Fahranfängern  
Müsseler, Debus, Huestegge, Anders, Skottke € 13,50
- M 200: Entwicklung der Anzahl Schwerstverletzter infolge von Straßenverkehrsunfällen in Deutschland  
Lefering € 13,50
- M 201: Bedeutung der Fahrpraxis für den Kompetenzerwerb beim Fahrenlernen  
Grattenthaler, Krüger, Schoch € 20,00
- M 202: Computergestützte Medien und Fahrsimulatoren in Fahrausbildung, Fahrerweiterbildung und Fahrerlaubnisprüfung  
Weiß, Bannert, Petzoldt, Krems € 16,00
- M 203: Testverfahren zur psychometrischen Leistungsprüfung der Fahreignung  
Poschadel, Falkenstein, Pappachan, Poll, Willmes von Hinckeldey € 16,50
- M 204: Auswirkungen von Belastungen und Stress auf das Verkehrsverhalten von Lkw-Fahrern  
Evers € 21,00
- M 205: Das Verkehrsquiz – Evaluationsinstrumente zur Erreichung von Standards in der Verkehrs-/Mobilitätserziehung der Sekundarstufe  
Heidemann, Hufgard, Sindern, Riek, Rudinger € 16,50

## 2010

- M 206: Profile im Straßenverkehr verunglückter Kinder und Jugendlicher  
Holte € 18,50
- M 207: ADAC/BASt-Symposium "Sicher fahren in Europa" nur als CD erhältlich € 24,00
- M 208: Volkswirtschaftliche Kosten durch Straßenverkehrsunfälle in Deutschland  
Baum, Kranz, Westerkamp € 18,00
- M 209: Unfallgeschehen auf Landstraßen – Eine Auswertung der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik  
Heinrich, Pöppel-Decker, Schönebeck, Ulitzsch € 17,50
- M 210: Entwicklung und Evaluation eines Screening-Tests zur Erfassung der Fahrkompetenz älterer Kraftfahrer (SCREEMO)  
Engin, Kocherscheid, Feldmann, Rudinger € 20,50
- M 211: Alkoholverbot für Fahranfänger  
Holte, Assing, Pöppel-Decker, Schönebeck € 14,50
- M 212: Verhaltensanweisungen bei Notsituationen in Straßentunneln  
Färber, Färber € 19,00
- M 213: Begleitetes Fahren ab 17 Jahre – Prozessevaluation des bundesweiten Modellversuchs  
Funk, Grüninger, Dittrich, Göbler, Hornung, Kreßner, Libal, Limberger, Riedel, Schaller, Schilling, Svetlova € 33,00

## 2011

- M 214: Evaluation der Freiwilligen Fortbildungsseminare für Fahranfänger (FSF) – Wirksamkeitsuntersuchung  
Sindern, Rudinger € 15,50
- M 215: Praktische Fahrerlaubnisprüfung – Grundlagen und Optimierungsmöglichkeiten – Methodische Grundlagen und Möglichkeiten der Weiterentwicklung  
Sturzbecher, Bönninger, Rüdell et al. € 23,50
- M 216: Verkehrserziehungsprogramme in der Lehreraus-/Fortbildung und deren Umsetzung im Schulalltag – Am Beispiel der Moderatorenkurse "EVA", "XpertTalks", "sicherfahren" und "RiSk"  
Neumann-Opitz, Bartz (in Vorbereitung)

- M 217: Leistungen des Rettungsdienstes 2008/09 – Analyse des Leistungsniveaus im Rettungsdienst für die Jahre 2008 und 2009  
Schmiedel, Behrendt € 16,50
- M 218: Sicherheitswirksamkeit des Begleiteten Fahrens ab 17. Summative Evaluation  
Schade, Heinzmann € 20,00
- M 219: Unterstützung der Fahrausbildung durch Lernsoftware  
Petzoldt, Weiß, Franke, Krems, Bannert € 15,50

## 2012

- M 220: Mobilitätsstudie Fahranfänger – Entwicklung der Fahrleistung und Autobenutzung am Anfang der Fahrkarriere  
Funk, Schneider, Zimmermann, Grüninger € 30,00
- M 221: Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit von Kleintransportern  
Roth € 15,00
- M 222: Neue Aufgabenformate in der Theoretischen Fahrerlaubnisprüfung  
Malone, Biermann, Brünken, Buch € 15,00
- M 223: Prozessevaluation der Kampagnenfortsetzung "Runter vom Gas!"  
Klimmt, Maurer € 15,00
- M 224: Entwicklung der Verkehrssicherheit und ihrer Rahmenbedingungen bis 2015/2020  
Maier, Ahrens, Aurich, Bartz, Schiller, Winkler, Wittwer € 17,00
- M 225: Ablenkung durch fahrfremde Tätigkeiten – Machbarkeitsstudie  
Huemer, Vollrath (in Vorbereitung)
- M 226: Rehabilitationsverlauf verkehrsauffälliger Kraftfahrer  
Glitsch, Bornewasser, Dünkel € 14,00
- M 227: Entwicklung eines methodischen Rahmenkonzeptes für Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr  
Hautzinger, Pfeiffer, Schmidt € 16,00

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Postfach 10 11 10  
D-27511 Bremerhaven  
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0  
Telefax: (04 71) 9 45 44 77  
Email: [vertrieb@nw-verlag.de](mailto:vertrieb@nw-verlag.de)  
Internet: [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de)

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.