

Erhebungskonzepte für eine Analyse der Nutzung von alternativen Routen in übergeordneten Straßennetzen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 169

The logo consists of the word "bast" in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are slightly shadowed, giving it a 3D appearance. The logo is positioned in the bottom right corner of the page.

Erhebungskonzepte für eine Analyse der Nutzung von alternativen Routen in übergeordneten Straßennetzen

von

Manfred Wermuth
Sven Wulff

Institut für Verkehr und Stadtbauwesen
Technische Universität „Carolo Wilhelmina“
zu Braunschweig

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 169

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 **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE 77.474/2003:
Erhebungskonzepte für eine Analyse der Nutzung von alternativen Routen in übergeordneten Straßennetzen auch mit Hilfe von Ortungssystemen

Projektbetreuung
Sylvia Piszczek

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
Internet: www.nw-verlag.de

ISSN 0943-9331
ISBN 978-3-86509-807-8

Bergisch Gladbach, März 2008

Kurzfassung – Abstract

Erhebungskonzepte für eine Analyse der Nutzung von alternativen Routen in übergeordneten Straßennetzen

Das FE-Projekt verfolgt das Ziel, Erhebungsverfahren zur Bestimmung des Befolungsgrades von Alternativroutenempfehlungen an Netzbeeinflussungsanlagen (NBA) vorzuschlagen. Dazu wurde – nach der Ermittlung relevanter Faktoren auf das individuelle Entscheidungsverhalten – das Spektrum bekannter Methoden und Verfahren systematisch analysiert und daraus schlüssige und handhabbare Empfehlungen für eine praktische Umsetzung abgeleitet.

Wesentliche Untersuchungsergebnisse sind:

Neben den Anzeigen auf Schildern einer NBA haben folgende Faktoren starken Einfluss auf die Entscheidung zur Befolgung einer Empfehlung: die Struktur des zulaufenden Verkehrsstromes (z. B. Quellen und Ziele der Fahrten, Fahrtzwecke), die Informationslage (Informationen aus Verkehrsfunk, Navigationssystem, eigener Beobachtung), die Umfeldsituation (z. B. Wetter und Sicht, die Qualität des Verkehrsflusses im Vorfeld der NBA sowie am Entscheidungspunkt) sowie Merkmale der Kfz-Nutzer (z. B. Ortskenntnis, Präferenzen/Motive).

Die Heterogenität der individuellen, situativen und verkehrlichen Einflüsse im Umfeld jeder einzelnen NBA sowie starke zufällige Schwankungen der Zusammensetzung des zu beeinflussenden Verkehrsstromes erschweren die Bestimmung des Befolungsgrades mit einem allgemein gültigen und auf unterschiedliche Anlagen übertragbaren Verfahren. Die Untersuchung von Verfahren der Beobachtung und Befragung ergab hohe zu erwartende Aufwendungen für die Erhebungsdurchführung bei gleichzeitig begrenzter Verbesserung erzielbarer Ergebnisse.

Eine pragmatische Möglichkeit zur Ermittlung von Befolungsgraden ist die Auswertung von Verkehrsdaten (Fahrzeugmengen), die in einem engen Zeitraum von höchstens 15 Minuten vor und nach Einschalten einer Empfehlung an Ein- und Ausfahrten eines beeinflussten Knotenpunkts erfasst werden. Die Übertragbarkeit der auf diese Weise ermittelten Werte auf andere Anlagen ist jedoch nur unter Berücksichtigung definierter Vergleichskrite-

rien möglich. Die tatsächliche Wirksamkeit von Beeinflussungsanlagen kann bei Anwendung statistischer Testverfahren durch kurzzeitige Versuchsschaltungen nachgewiesen werden.

Zur Bestimmung der Befolungsgrade von NBA wird empfohlen, Stated-Response-Methoden (Messung individueller Präferenzen) anzuwenden. Diese Methoden bieten den zusätzlichen Nutzen der Berücksichtigung von Effekten relevanter Einflussfaktoren bei der Interpretation festgestellter Befolungsgrade.

Investigative concept for an analysis of the utilisation of alternative routes in mayor road networks

The aim of the research project is to propose data collection procedures for determining the degree to which recommendations for alternative routes made by traffic control systems in road networks (NBA) are followed. After establishing the factors relevant for individual decision behaviour and systematically analyzing the spectrum of known methods, conclusive and manageable suggestions for their implementation are deduced.

These are the essential results:

Besides the information shown on the displays of an NBA, the following factors have strong influence on the decision whether a recommendation is followed or not: structure of traffic (e.g. origin and destination, trip purpose), available information (radio traffic service, navigation system, personal observations), ambient situation (e.g. weather and visibility, quality of traffic flow in the approaches of the NBA and at the decision point) as well as driver-specific parameters (e.g. local knowledge, preferences/motives).

The heterogeneity of individual, situational, and traffic-related influences in the area surrounding every single NBA as well as strong random fluctuations in the composition of the traffic make it complicated to determine the degree to which recommendations are followed by means of a universally applicable procedure which can be transferred to different systems. The study of observation and survey procedures showed that

the costs involved in carrying out such a survey would be high while the expected improvement of the results thus to be achieved would be limited.

A pragmatic possibility for determining the degree to which recommendations are followed is the analysis of traffic-count data (automatically) recorded at the entrance and exit points of a particular node within a time segment comprising no more than 15 minutes before and after activating a recommendation. Parameters thus established can, however, only be transferred to other systems if well-defined criteria are taken into account. Proof of the actual effectiveness of traffic control systems can be established by means of short-term experimental set-ups using statistical tests.

For determining degrees of compliance with NBA recommendations it is suggested to apply stated-response methods (measurements of individual preferences). These methods offer the additional benefit of considering the effects of relevant influence factors in the interpretation of measured compliance degrees.

Inhalt

1	Einführung	7	4.4.3	Ermittlung des Befolungsgrades unter Betrachtung von Einzeltagen ...	19
1.1	Problemstellung	7	4.4.4	Berücksichtigung von Fahrtzielen	19
1.2	Ziel des Forschungsprojektes	7	4.5	Statistischer Nachweis der Wirksamkeit einer Beeinflussungsanlage mittels Versuchsschaltungen	20
1.3	Gliederung des Berichts	8	4.5.1	Statistischer Test für die Wirksamkeit	21
2	Verkehrsbeeinflussung auf Bundesfernstraßen	9	4.5.2	Notwendiger Stichprobenumfang zum Nachweis der Wirksamkeit	23
2.1	Systeme zur kollektiven Verkehrsbeeinflussung	9	5	Einflussfaktoren auf die Befolgung	23
2.2	Maßnahmen zur Netzbeeinflussung ...	10	5.1	Empirische Erkenntnisse	23
2.2.1	Additive Wechselwegweisung	10	5.2	Einflusskategorien	28
2.2.2	Substitutive Wechselwegweisung	10	5.3	Qualitative Abschätzung der Effektstärke einzelner Einflussfaktoren	29
2.2.3	Dynamische Wegweiser mit integrierten Stauinformationen (dWiSta)	10	5.4	Übertragbarkeit des Einflusses kausaler Faktoren auf andere Beeinflussungsanlagen	30
3	Verkehrsbeeinflussung im Netz als Teil strategischen Verkehrsmanagements	11	5.5	Hypothesen über den Einfluss kausaler Faktoren auf den Befolungsgrad von Alternativroutenempfehlungen	30
3.1	Bedeutung der Kenntnis der Wirkungen von Netzbeeinflussungsanlagen	11	6	Empirische Methoden und Verfahren zur Ermittlung von Befolungsgraden	32
3.2	Möglichkeiten und Restriktionen bei der Analyse von Wirkungen verkehrsbeeinflussender Maßnahmen über ein makroskopisches Umlegungsmodell	11	6.1	Beobachtung	33
4	Befolgung und Befolungsgrad	12	6.1.1	Mobilfunkgestützte Beobachtung	34
4.1	Befolungsgrad als Kenngröße zur Abschätzung von Wirkungen von Alternativroutenempfehlungen	12	6.1.2	Satellitengestützte Beobachtung	36
4.2	Begriffsdefinition	14	6.1.3	Kennzeichenerfassung mittels Videotechnik	37
4.3	Empirische Ermittlung des Befolungsgrades	17	6.2	Befragung	37
4.4	Bisherige Vorgehensweisen zur Bestimmung des Befolungsgrades	17	6.2.1	Schriftliche Befragung	38
4.4.1	Pauschale Beurteilung anhand von Verkehrsstärkeganglinien	17	6.2.2	Persönliche Befragung im Verkehrssystem	40
4.4.2	Abschätzung des Befolungsgrades aus Standardganglinien	18	6.2.3	Telefonische Befragungen	41
			6.2.4	Mobilitäts- oder Fahrtentagebücher ...	42

6.3	Methodenmix	43	9.2.4	Übertragung der Nutzenwerte auf größere Gruppen	62
6.4	Stichprobenauswahl und Stichprobenumfänge	44	9.2.5	Stichprobenumfang/Stichprobenauswahl/Probandengewinnung	62
6.4.1	Auswahlverfahren	44	9.2.6	Übertragbarkeit von Ergebnissen	63
6.4.2	Notwendiger Stichprobenumfang	45	9.3	Schlussfolgerungen	64
7	Methoden zur Erhebung potenziellen Verhaltens	46	10	Literatur	66
7.1	Durchführung hypothetischer Befragungen mit Hilfe interaktiver Simulation	48			
7.2	Beispiele für Erhebungen mittels Methoden der Stated Response	49			
7.3	Stichprobenumfang einer Erhebung potenziellen Verhaltens	51			
8	Probanden	52			
8.1	Relevante Probandengruppen	52			
8.2	Geeignete Rekrutierungsverfahren	52			
8.3	Erzielbare Ergebnisse bei der Ermittlung von Befolungsgraden	53			
9	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	54			
9.1	Praktische Empfehlungen für Erhebungen zur Abschätzung von Befolungsgraden von Alternativroutenempfehlungen	55			
9.1.1	Ermittlung von Befolungsgraden anhand gemessener Verkehrsdaten (ex-post)	55			
9.1.2	Abschätzung von Befolungsgraden anhand von Daten möglichst ähnlicher Anlagen (ex-ante)	55			
9.2	Wissenschaftliches Erhebungskonzept	56			
9.2.1	Vorüberlegungen zur Konzeption einer Stated Response-Untersuchung	57			
9.2.2	Aufbau des Fragebogens/Interviews	60			
9.2.3	Ergebnisse der Stated-Response-Befragung	62			

1 Einführung

1.1 Problemstellung

Verkehrsbeeinflussungsanlagen haben die Aufgabe, den Autofahrer vor Gefahren, Störungen und Streckenüberlastungen zu warnen, die Leistungsfähigkeit der Straßeninfrastruktur zu erhöhen und – insbesondere durch Netzbeeinflussungsanlagen – den Kraftfahrzeugverkehr teilweise oder ganz durch Routenempfehlungen an geeigneten Stellen im Straßennetz auf alternativen Routen schneller und sicherer zum Ziel zu führen. Der Gesamtnutzen einer derartigen Beeinflussungsmaßnahme setzt sich zusammen aus den Nutzen der einzelnen Verkehrsteilnehmer (z. B. Zeiteinsparung, Energieeinsparung) und dem Nutzen der betroffenen Allgemeinheit (z. B. veränderte Umweltwirkungen). So kann u. U. der Nutzen der eingesparten Fahrzeit der Verkehrsteilnehmer durch die Nachteile (negative Nutzen) für die Allgemeinheit infolge des erhöhten Schadstoffausstoßes auf längeren Alternativrouten zunichte gemacht werden. Der Gesamtnutzen einer Netzbeeinflussungsmaßnahme in einer bestimmten räumlichen Lage und verkehrlichen Situation ist somit nur in einem komplexen Bewertungsmodell unter Einbeziehung möglichst vieler Einzelnutzen zu quantifizieren.

Im vorliegenden FuE-Projekt werden ausschließlich Netzbeeinflussungsanlagen und deren Wirksamkeit behandelt. Einen starken Einfluss auf den Gesamtnutzen einer Netzbeeinflussungsmaßnahme hat bekanntermaßen der Befolgungsgrad von Routenempfehlungen. Der Befolgungsgrad einer Beeinflussungsmaßnahme an einem bestimmten Ort im Verkehrsnetz in einem bestimmten Zeitintervall wiederum wird beeinflusst von der Art und den Informationsmerkmalen der jeweiligen Netzbeeinflussungsanlage, aber auch von einer Vielzahl von Einflussfaktoren der Verkehrsteilnehmer (z. B. Ortskenntnis, sonstige Verkehrsinformationen) sowie der Verkehrsströme (z. B. Lage der Fahrtziele), die in diesem Zeitintervall die Beeinflussungsstelle passieren. Wenngleich somit der zu erwartende Befolgungsgrad einer Beeinflussungsmaßnahme im konkreten Fall in starkem Maße von den Verkehrsteilnehmern und der Verkehrsnachfragesituation abhängt, so weisen verschiedene Netzbeeinflussungsanlagen je nach Art und Informationsgehalt doch unterschiedliche generelle Wirksamkeiten bezüglich der Befolgung der vermittelten Alternativroutenempfehlungen auf.

Über diese generellen Wirksamkeiten unterschiedlicher Netzbeeinflussungsanlagen (Wechselwegweiser) liegen bisher nur wenige empirisch gesicherte Erkenntnisse vor. Ein Grund dafür liegt vermutlich in der Komplexität und dem Aufwand von Verfahren, mit deren Hilfe der Befolgungsgrad einer Alternativroutenempfehlung ermittelt werden kann. Das zentrale Problem besteht darin, dass die Akzeptanzwahrscheinlichkeit einer Alternativroutenempfehlung im Einzelfall neben der Art und den Merkmalen der Routenempfehlung von einer Vielzahl von Einflussfaktoren des Fahrers und der Fahrt abhängt, wie Lage des Fahrtzieles, verfügbare Zeit, Verfügbarkeit anderer Informationsquellen (Verkehrsfunk, Navigationssysteme usw.), subjektive Disponiertheit (Einstellungen) und Erfahrungen des Fahrers.

Für verschiedene Fragestellungen aus der Praxis scheint es jedoch sinnvoll, neben Aussagen zum kollektiven Verhalten auch Hinweise auf den Einfluss dieser individuellen Ursachen und Motive für die Befolgung von Beeinflussungsmaßnahmen zu ermitteln. Die Analyse individuellen Entscheidungsverhaltens ist jedoch nur mit hohem Erhebungsaufwand und deshalb nur mittels kleiner Stichproben von Einzelfällen in der Praxis durchführbar.

1.2 Ziel des Forschungsprojektes

Ziel des vorliegenden FuE-Projekts ist die Entwicklung von Verfahren zur Ermittlung der Wirksamkeit, d. h. des Befolgungsgrades, von Netzbeeinflussungsanlagen. Der Befolgungsgrad ist im Rahmen der Planung von Netzbeeinflussungsanlagen die Schlüsselgröße, da er für die Vorausabschätzung des Gesamtnutzens einer Netzbeeinflussungsanlage von zentraler Bedeutung ist. In der Praxis stützt man sich dabei vor allem auf Modellrechnungen, wobei die notwendigen Befolgungsgrade frei geschätzt werden. Für die Abschätzung von Befolgungsgraden existieren bisher keine empirischen Verfahren. Selbst im laufenden praktischen Betrieb einer Netzbeeinflussungsanlage wird der Befolgungsgrad i. A. nicht ständig ermittelt, obwohl von dieser Größe der sinnvolle Einsatz der Anlagen abhängt.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass der Befolgungsgrad von Netzbeeinflussungsanlagen maßgeblich von individuellen Entscheidungsprozessen beeinflusst wird und deshalb starken zufallsbedingten Schwankungen unterworfen ist. Mit Erhebung

gen können Einzelaspekte näher untersucht werden, um hier zu einer Aufklärung beizutragen.

Das vorliegende Projekt verfolgt daher die folgenden Ziele:

- Erarbeitung von Vorschlägen zu Erhebungsverfahren zur Bestimmung des Befolungsgrades von Alternativroutenempfehlungen an Netzbeeinflussungsanlagen (NBA).
- Prüfung der Eignung neuerer automatischer Erhebungsverfahren zur Erfassung gesamter Routen bzw. von Routenabschnitten zur Bestimmung des Befolungsgrades von Alternativroutenempfehlungen.
- Ermittlung individueller Ursachen und Motive (Einflussfaktoren) bei Routenwahlentscheidungen sowie möglicher Wechselwirkungen einzelner Einflussfaktoren untereinander.
- Prüfung der Möglichkeiten zur Erhebung der Effektstärke relevanter Einflussfaktoren.
- Erarbeitung von Hinweisen auf zu erwartenden Erhebungsaufwand.
- Diskussion von Möglichkeiten und Grenzen der Übertragbarkeit von Befolungsgraden bestehender auf neue, geplante Anlagen.

1.3 Gliederung des Berichts

Der vorliegende Bericht stellt nach einer kurzen Einführung in die derzeit eingesetzten Verkehrsbeeinflussungsanlagen im ersten Schritt die Bedeutung und den Nutzen fundierter Kenntnisse über den Befolungsgrad von Wechselwegweisern heraus. Dabei wird anhand von Beispielen gezeigt, wie die Befolgung der angezeigten Alternativroutenempfehlungen mit einem makroskopischen Umlenkungsmodell praktisch simuliert werden kann und welche Einschränkungen bei dieser Vorgehensweise vorhanden sind.

Im laufenden Betrieb einer Netzbeeinflussungsanlage lässt sich der Befolungsgrad auf Basis gemessener Verkehrsdaten (Daten aus Querschnittszählungen) bestimmen. Bisher in der Praxis verwendete Modelle werden beschrieben. Da bei Verwendung dieser Verfahren die Gründe für eine getroffene Entscheidung zwangsläufig unberücksichtigt bleiben, sollen Hinweise darauf gegeben werden, welche zusätzlichen Informationen notwendig sind (und wie sie ggf. erhoben werden

können), um genauere Kenntnis über die Wirkung einzelner Einflussfaktoren zu erhalten. Da sich beispielsweise das Ziel einer Fahrt auf die Bereitschaft zur Befolgung einer Alternativroutenempfehlung auswirkt, lässt die Berücksichtigung der Fahrtziele des Verkehrsstroms eine genauere Ermittlung des Befolungsgrades erwarten. Mögliche Verfahren zur Ermittlung von Fahrtzielen sowie deren erhebungstechnischer Aufwand werden daher beschrieben.

Bei der Planung von Netzbeeinflussungsanlagen muss der Befolungsgrad abgeschätzt werden, um die zu erwartenden verkehrlichen Wirkungen möglichst genau prognostizieren zu können. Für die Abschätzung des Befolungsgrades einer Alternativroutenempfehlung mittels Wechselwegweiser ist bisher wegen methodischer Schwierigkeiten kein allgemein gültiges und auf unterschiedliche Anlagen übertragbares Verfahren bekannt. Dies liegt v. a. daran, dass die situativen und verkehrlichen Randbedingungen an verschiedenen Netzbeeinflussungsanlagen und zu verschiedenen Zeiten deutliche Unterschiede aufweisen und die Zusammensetzung des zu beeinflussenden Verkehrsstromes auch starken zufälligen Schwankungen unterliegt.

Daher werden im nächsten Schritt die für die Befolgung von Anzeigen auf Wechselwegweisern relevanten Einflussfaktoren aus Literaturanalysen zusammengestellt. Ziel ist die Darstellung der Komplexität des Entscheidungsverhaltens beim Fahrer, das durch eine Reihe von Einflüssen determiniert ist. Außerdem wird unter Berücksichtigung empirischer Ergebnisse die Einflussstärke einzelner Faktoren auf die Befolgung abgeschätzt.

Der Bericht schließt mit ersten Empfehlungen für Erhebungen, die von den mit der Planung und dem Betrieb befassten Institutionen durchzuführen sind, um Befolungsgrade von Alternativroutenempfehlungen zu ermitteln. Da die Ergebnisse solcher Erhebungen nur für einzelne Anlagen gelten, wird anschließend ein wissenschaftliches Erhebungskonzept vorgestellt, mit dem es möglich ist, sowohl Befolungsgrade von Alternativroutenempfehlungen von NBA zu ermitteln als auch die Effekte relevanter Einflussfaktoren zu überprüfen und zu quantifizieren. Mit den Ergebnissen einer derartigen Untersuchung ist es möglich, Hinweise auf die Übertragbarkeit der Ergebnisse einzelner Anlagen auf andere Anlagen zu erhalten.

2 Verkehrsbeeinflussung auf Bundesfernstraßen

Maßnahmen zur Verkehrsbeeinflussung auf Bundesfernstraßen sollen die Verkehrssicherheit erhöhen und den Verkehrsfluss verbessern. Damit können diese Maßnahmen auch zur Verringerung der Umweltbelastungen durch den Straßenverkehr sowie von Zeit- und Energieverlusten beitragen.

2.1 Systeme zur kollektiven Verkehrsbeeinflussung

In Deutschland kommen unterschiedliche Systeme zur kollektiven Beeinflussung des Verkehrsablaufs (= Verkehrsbeeinflussung) zum Einsatz, die auch Gegenstand von Richtlinien des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung sind.

Als thematisch relevante Richtlinien sind die folgenden zu nennen:

- RWVA 1997: Richtlinien für Wechselverkehrszeichenanlagen an Bundesfernstraßen, Ausgabe 1997

Die RWVA beschreiben Systeme zur Verkehrsbeeinflussung an Bundesfernstraßen, deren Funktionsweise und Technik sowie Grundlagen für Planung und Betrieb derartiger Anlagen.

- RWVZ 1997: Richtlinien für Wechselverkehrszeichen an Bundesfernstraßen, Ausgabe 1997

Die RWVZ enthalten Hinweise über Bauart, Ausführung und Anordnung der Wechselverkehrszeichen.

- TLS: Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen

In den TLS sind Funktionen und Schnittstellen von Streckenstationen einheitlich festgelegt.

- Weitere Richtlinien, die den Betrieb von Wechselverkehrszeichenanlagen betreffen. Diese sind u. a. in den RWVA angegeben.

Eine Aktualisierung und Zusammenfassung aller relevanten Richtlinien befinden sich derzeit in Bearbeitung (FE-Nr. 03.391 des BMVBS „Zusammenführung von Regelwerken zu neuen „Richtlinien zur Verkehrsbeeinflussung“).

Die RWVA 1997 gliedern die Verkehrsbeeinflussungsanlagen in Netz-, Strecken- und Knotenpunktbeeinflussungsanlagen sowie punktuell querschnittsbezogen wirksame Anlagen (Bild 1). Aufgabe dieser Anlagen ist demgemäß die Beeinflussung des Verkehrs

- im Netz (v. a. über Wechselwegweisung),
- auf einem Streckenabschnitt (z. B. durch Geschwindigkeitsbeschränkungen, Überholverbote, Warnung vor Gefahren),
- am Knotenpunkt (v. a. Fahrstreifenzuteilung, Zufahrtregelung) oder

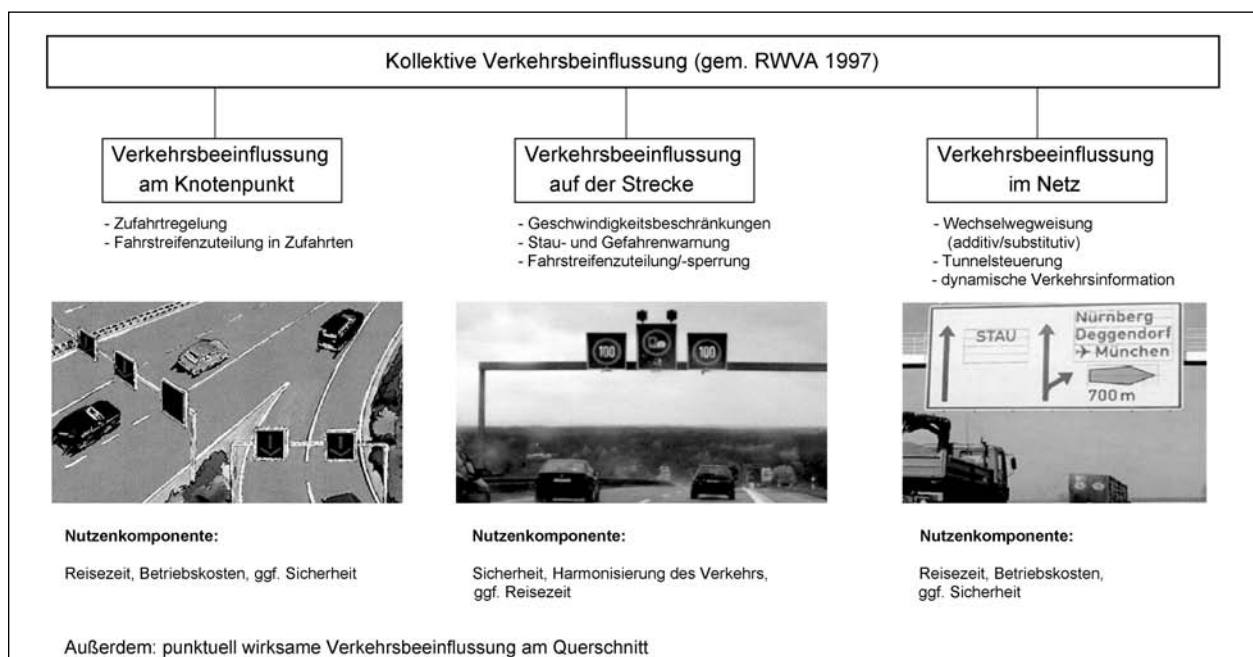


Bild 1: Übersicht über Verfahren zur kollektiven Verkehrsbeeinflussung auf Bundesfernstraßen (in Anlehnung an RWVA 1997)

- an einem Einzelquerschnitt (Gefahrenwarnung ohne Anbindung an das Gesamtsystem).

Gemäß Aufgabenstellung soll die Befolgung von Alternativroutenempfehlungen, die über Wechselwegweiser angezeigt werden, untersucht werden. Daher beziehen sich alle Ausführungen in dieser Arbeit nur auf Netzbeeinflussungsanlagen.

2.2 Maßnahmen zur Netzbeeinflussung

Maßnahmen zur Netzbeeinflussung erfolgen mittels Schildern, die einen Wechsel von Symbolen und/oder Texten erlauben. Mit solchen Schildern ist z. B. die Empfehlung alternativer Routen durch Richtungsänderungs- oder Umleitungsanzeigen möglich. Die Maßnahmen dienen der optimalen Verteilung des Verkehrs auf die verfügbaren Strecken eines Netzes. Das vorrangige Ziel der Netzbeeinflussung durch Wechselwegweiser ist die Optimierung der Nutzenkomponente Wirtschaftlichkeit (d. h. Vermeidung von Fahrzeitverlusten) durch eine bessere Ausnutzung des verfügbaren Straßennetzes sowie die Umfahrung von Störungspunkten im Netz.

Die straßenseitige Alternativroutenführung mit Wechselwegweisern ist eine Form der dynamischen Zielführung, die die Ausschilderung optimaler Routen unter Berücksichtigung aktueller Verhältnisse (z. B. Verkehrsstörungen) ermöglicht. Sie ergänzt die feste (statische) Wegweisung. Zur Empfehlung alternativer Routen sind zwei Arten der Wegweisung entstanden, nämlich die additive und die substitutive Wechselwegweisung.

2.2.1 Additive Wechselwegweisung

Additive Wechselwegweiser ergänzen die vorhandene statische Beschilderung und werden an relevanten Knotenpunkten aufgestellt (Bild 2).

Bei Störungen auf der Hauptstrecke wird unter Angabe des Grundes eine Umleitungsempfehlung gezeigt. Der Verkehrsteilnehmer entscheidet selbst, ob er die Alternativroute befolgt oder nicht. Die Inhalte werden mit schwarzer Schrift auf weißem Grund dargestellt. Als besonderes Zeichen gehört der orangefarbene Umleitungs Pfeil dazu. Wechselverkehrszeichen wurden bis vor einigen Jahren mechanisch, vor allem mit Dreikantprismen, dargestellt. Heute werden die Anzeigen überwiegend mittels moderner LED-Technik ausgegeben.

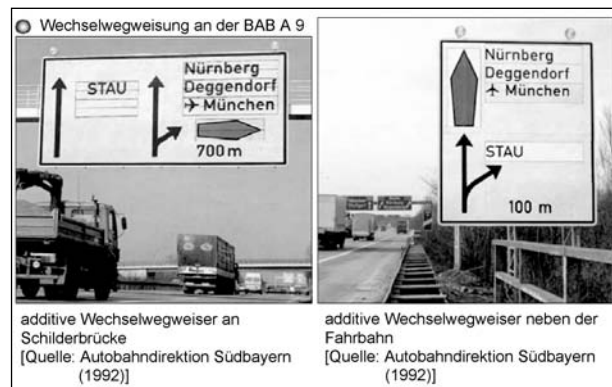


Bild 2: Additive Wechselwegweisung (die dargestellte Beschilderung dient lediglich als Prinzipdarstellung. Im Raum München existieren heute ausschließlich substitutive Wechselwegweiser)

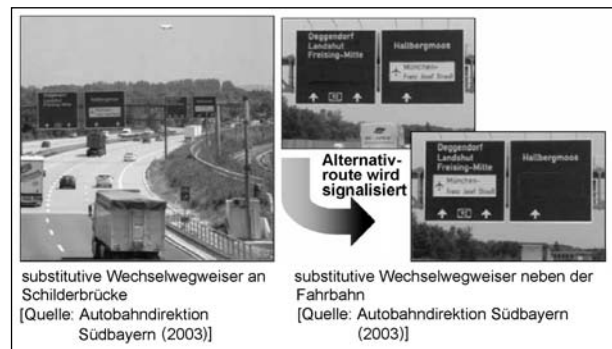


Bild 3: Substitutive Wechselwegweisung

2.2.2 Substitutive Wechselwegweisung

Die substitutiven Wechselwegweiser (Bild 3) sind in den statischen Wegweisern integriert, sodass keine zusätzliche Beschilderung notwendig ist. Im Störfall können die vorhandenen Zielangaben so verändert werden, dass ein ortsunkundiger Verkehrsteilnehmer nicht erkennen kann, ob er gerade die Haupt- oder die Alternativroute benutzt. Die Entscheidung über die Befolgung der Alternativstrecke wird dem Verkehrsteilnehmer abgenommen.

2.2.3 Dynamische Wegweiser mit integrierten Stauinformationen (dWiSta)

Zur Verbesserung derzeitiger Netzbeeinflussungssysteme werden seit kurzem neben Empfehlungen über alternative Routen auch zusätzliche, unmittelbar entscheidungsrelevante Verkehrsinformationen (z. B. über Ort, Ausdehnung von Störungen) an die Kraftfahrer übermittelt. Es wird erwartet, dass Verkehrsteilnehmer so eine bessere Grundlage für ihre Routenwahl erhalten. Derartige Systeme informationsgestützter Verkehrsbeeinflussungsanlagen sind aufgrund ihrer Flexibilität eine moderne, verbesser-

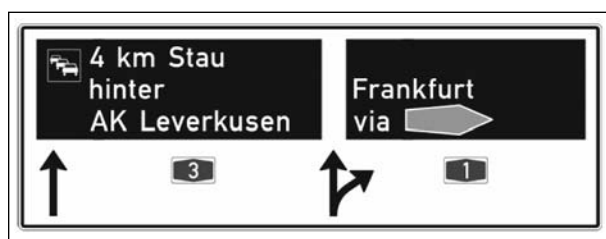


Bild 4: Anzeigebeispiel eines dynamischen Wegweisers mit integrierter Stauinformation

te Form der additiven Wechselwegweisung. Sie werden als „dynamische Wegweiser mit integrierter Stauinformationen“ (dWiSta) bezeichnet.

dWiSta zeigen neben Ausmaß und Ort einer Störung in der Regel eine Empfehlung für eine alternative Route im Fernstraßennetz (Bild 4). Eine detaillierte Untersuchung über die geeignete Darstellung dynamischer Verkehrsinformationen wurde von SIEGENER et al. (2005) durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung bildeten die Basis für das Hinweispapier „Dynamische Wegweiser mit Stauinformationen (dWiSta) – Hinweise für die einheitliche Gestaltung und Anwendung an Bundesfernstraßen“. Rechtliche Grundlagen, Ergebnisse wahrnehmungspsychologischer Untersuchungen sowie Ergebnisse nationaler und internationaler Studien zu Textanzeigen sind bei HARTZ (2005) beschrieben.

3 Verkehrsbeeinflussung im Netz als Teil strategischen Verkehrsmanagements

Ziel dieses Kapitels ist die Darstellung der Bedeutung und des Nutzens verbesserter Kenntnisse über den Befolgungsgrad von Alternativroutenempfehlungen sowie der Möglichkeiten und Restriktionen bei der Simulation verkehrlicher Wirkungen unter Verwendung makroskopischer Umlegungsmodelle. Dargestellt wird dies aus Sicht der Verkehrsmanagementzentrale VMZ Berlin Betreiber-gesellschaft mbH.

3.1 Bedeutung der Kenntnis der Wirkungen von Netzbeeinflussungsanlagen

Dem stetig anwachsenden Verkehrsaufkommen steht in den Ballungsräumen ein in seiner Leistungsfähigkeit begrenztes Verkehrsnetz gegenüber.

Dies führt in den Spitzenzeiten des Verkehrs zu Überlastungen und Stauerscheinungen auf wichtigen Hauptverkehrsstraßen.

Eine große Chance für die Verbesserung des Verkehrsablaufs besteht deshalb in der besseren Ausnutzung der verfügbaren Kapazitäten durch ein verkehrsmittelübergreifendes Verkehrsmanagement. In einigen Bundesländern (z. B. Bayern, Hessen, NRW), insbesondere in einigen Ballungsräumen (z. B. Berlin, München, Hannover, Braunschweig, Köln), sind bereits Verkehrsmanagementzentralen in Betrieb oder befinden sich im Aufbau. Mit deren Hilfe soll der Kfz-Verkehr effizienter gesteuert werden. Zur Steuerung des Verkehrs kommen auf zahlreichen Autobahnen v. a. Strecken- und Netzbeeinflussungsanlagen zum Einsatz.

Grundlage jedes Handlungskonzepts zur Steuerung des Verkehrs sind genaue Kenntnisse über verkehrliche Wirkungen verschiedener Schaltungszustände von Verkehrsbeeinflussungsanlagen. Um diese Kenntnisse zu erlangen, bedarf es umfassender Vorab-Analysen der Verlagerungswirkungen infolge verschiedener Steuerungsmaßnahmen. Auf deren Grundlage kann eine differenzierte Eingriffsschwere bestimmt werden, die in Steuerstrategien zu hinterlegen sind. Nach Identifikation einer Störung im Netz (Unfall, Stau, erhöhtes Verkehrsaufkommen) und Lokalisation der Problembereiche besteht die Möglichkeit, über Verkehrsbeobachtung und Verkehrserfassung in den kritischen Bereichen die Wirkungen zeitnah zu bewerten und die Ergebnisse für die operative Steuerung im Sinne einer Erfolgskontrolle zu nutzen.

3.2 Möglichkeiten und Restriktionen bei der Analyse von Wirkungen verkehrsbeeinflussender Maßnahmen über ein makroskopisches Umlegungsmodell

Verkehrliche Wirkungen verkehrsbeeinflussender Maßnahmen (z. B. Alternativroutenempfehlungen) werden in Verkehrsmanagementzentralen v. a. unter Verwendung makroskopischer Umlegungsmodelle bereits vor der Aktivierung von Maßnahmen abgeschätzt¹. Voraussetzung ist ein kalibriertes Netz, welches die vorhandene Verkehrssituation real abbildet. Die entscheidende Anforderung besteht bei der Simulation darin, die jeweilige Schaltung in geeigneter Weise im Netzmodell abzubilden, da eine direkte Vorgabe nicht möglich ist.

Dem Anwender stehen für diese Aufgabe jedoch nur begrenzte Möglichkeiten zur Verfügung, die einzeln bzw. in Kombination zum Einsatz kommen sollten.

Die Kenntnis des Befolungsgrades besitzt für die Planung und Vorbereitung verkehrslenkender Maßnahmen eine große Bedeutung. Der Simulation von Befolungsgraden mit makroskopischen Umlegungsmodellen sind jedoch deutliche Grenzen gesetzt, da die verkehrsbeeinflussenden Maßnahmen (Schaltungen) gegenwärtig nur durch Kapazitäts- und Reisezeitveränderungen im Netzmodell abgebildet werden können. Sollen beispielsweise die Wirkungen einer Alternativroutenempfehlung analysiert werden, die als Zusatzinformation die Störungsursache (z. B. Unfall) beinhaltet, bedarf es einer realistischen Einschätzung darüber, welche Kapazitäts- oder Reisezeitveränderungen dieser Information (modellseitig) entsprechen. Für derartige Einschätzungen sind detaillierte Erfahrungen des Anwenders notwendig. Auswirkungen auf die Verkehrsnachfrage (Quelle-Ziel-Matrix) müssen über die Verkehrsverteilungsmodelle berücksichtigt werden. Erfahrungen in Berlin zeigen, dass bei umfassender Vorinformation über Baumaßnahmen und Veranstaltungen, beispielsweise über Rundfunk und/oder dynamische Infotafeln (vgl. Bild 5), ein bedeutender Anteil von Fahrzeugführern sich eigene weiträumige Umfahrungsmöglichkeiten sucht.

Letztendlich ermöglicht die Kenntnis der aufgrund einer Schaltung (z. B. Alternativroutenempfehlung) hervorgerufenen veränderten Aufteilung der Verkehrsströme die Auswahl und Umsetzung der geeigneten Steuerungsstrategie.

Trotz der erläuterten Einschränkungen sind aus Sicht der Praxis makroskopische Umlegungs-



Bild 5: Beispiel für dynamische Infotafel (kein Zeichen nach STVZO)

delle für den Zweck der Vorausabschätzung verkehrlicher Wirkungen verkehrsbeeinflussender Maßnahmen durchaus verwendbar. Für den Betrieb von Netzbeeinflussungsanlagen sowie für die Weitergabe aktueller Verkehrsinformationen und Umleitungsempfehlungen (z. B. an Radiostationen) ist es jedoch erforderlich, die Verkehrsentwicklung auf den Normal- und Alternativrouten sowohl im Zustand ohne Schaltungen als auch im Zustand mit Schaltung laufend zu beobachten. Moderne Verkehrsmanagementzentralen sind technisch in der Lage, auf der Basis von online erfassten Detektordaten (Verkehrsmengen, Geschwindigkeiten, Level of Service (LOS)) die Verkehrsqualität auf relevanten Streckenabschnitten zu bestimmen. Die so erhobenen Daten fließen in die Bewertung der Steuerungsalternative ein.

4 Befolgung und Befolungsgrad

4.1 Befolungsgrad als Kenngröße zur Abschätzung von Wirkungen von Alternativroutenempfehlungen

Die Verfahrenskette zur Steuerung von Netzbeeinflussungsanlagen wird entlang fünf verschiedener, aufeinander aufbauender Schritte abgearbeitet:

1. Analyse der Verkehrssituation,
2. Prognose und Erkennung von Verkehrsstörungen,
3. Auswahl möglicher Steuerungsalternativen,
4. Prognose bzw. Bewertung der Steuerungsalternativen,

¹ KÖHLER et al. (2001) stellen fest, dass durch den Einsatz von Leitsystemen, zu denen die Alternativroutensteuerung über Netzbeeinflussungsanlagen gezählt werden muss, die Informiertheit der Verkehrsteilnehmer verbessert wird. Da in vielen Verkehrsmodellen (Gleichgewichtsmodellen) eine umfassende Informiertheit über die günstigsten (d. h. zeitkürzesten) Routen vorausgesetzt wird, wird somit der Fehler, der bei der Modellanwendung entsteht, reduziert.

Diese – für die praktische Sicht günstige – Feststellung impliziert jedoch, dass ein Verkehrsteilnehmer nur aufgrund des Einflussfaktors „Reisezeit“ eine Entscheidung zur Befolgung oder Missachtung einer Empfehlung trifft. In Kapitel 4 wird jedoch gezeigt, dass die Einflussfaktoren weitaus differenzierter sind.

5. Umsetzung der optimalen Steuerungsalternative.

Wird ein gestörter Verkehrszustand detektiert, werden geeignete Möglichkeiten zur Entlastung des gestörten Streckenabschnittes aus einem Bestand von im Voraus festgelegten Handlungskonzepten (Steuerungsstrategien) ausgewählt.

Für diese Strategien werden die zu erwartenden verkehrlichen Wirkungen unter Abschätzung der zu erwartenden Befolgungsgrade ermittelt. Zur Bewertung des Nutzens der jeweiligen Strategie wird eine zu minimierende oder maximierende Zielfunktion zugrunde gelegt, die sich aus der Addition zuvor bewerteter Steuerungskriterien zusammensetzt. Als Steuerungskriterien können beispielsweise die folgenden Parameter herangezogen werden:

- Reisezeit,
- Betriebskosten (Kraftstoffverbrauch),
- Unfallrisiko.

Das Prinzip der Steuerung kann im Rahmen des Entscheidungsverfahrens entweder nutzer- oder systemoptimal definiert werden. Bei der systemoptimierten Steuerungsstrategie wird diejenige Maßnahme umgesetzt, die die geringsten Kosten im gesamten Netz erzeugt. Bei der nutzeroptimalen Steuerungsstrategie wird für jede Zielgebietsgruppe überprüft, welche Route die minimalen Kosten erzeugt, und die entsprechende Fahrtbeziehung als Schaltempfehlung ausgegeben.

Als stärkster Einflussfaktor spielt bei der Optimierung der Zielfunktion der Befolgungsgrad eine besonders wichtige Rolle (Bild 6).

Die Größe des zu erwartenden Befolgungsgrades ist a priori nicht exakt quantifizierbar. Die Ursachen dafür beschreibt SACHSE (2000) wie folgt:

- Anzeigen auf Wechselwegweisern haben nur empfehlenden Charakter und sind nicht bindend.
- Persönliche Erfahrungen mit Wechselwegweisung im Allgemeinen und einzelnen Anlagen im Speziellen beeinflussen den Befolgungsgrad. Diese Erfahrungen können nur über Befragungen ermittelt werden.
- Netz- und Umfeldbedingungen (Umfwegfaktor, Alternativen im untergeordneten Straßennetz) beeinflussen den Befolgungsgrad.

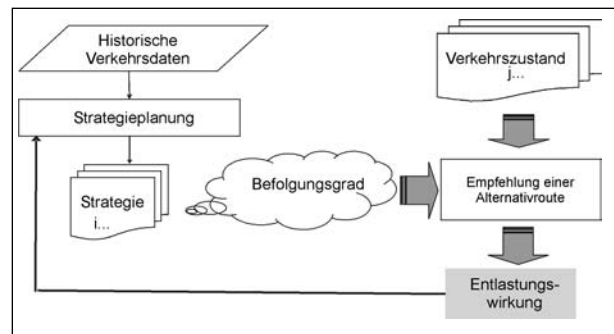


Bild 6: System der Verkehrsbeeinflussung (Quelle: eigene Darstellung)

- Das Verhältnis zwischen normaler Fahrtstrecke und Streckenlänge bei Befolgung der Empfehlung hat Einfluss auf den Befolgungsgrad. Da sich bei kurzen, regionalen Fahrten Umwege stärker auswirken als bei langen Fahrten, sind Fahrten des Fernverkehrs stärker beeinflussbar als regionale Fahrten. Dabei wirkt sich auch die Netzkenntnis der Verkehrsteilnehmer aus.
- Je stärker die Ausprägung einer Störung ist, umso höher ist der Befolgungsgrad zu erwarten („Stau“ wirksamer als „Staugefahr“).
- Die an verschiedenen Wochentagen unterschiedliche Zusammensetzung des Verkehrs bewirkt unterschiedliche Befolgungsgrade.

Aufgrund dessen wird der Befolgungsgrad in Abhängigkeit vom beabsichtigten Schaltplan im Allgemeinen geschätzt und geht als Konstante oder zeitlich diskretisierte Variable in die Berechnung der ableitbaren Fahrzeugmenge (bzw. des abgeleiteten Fahrzeuganteils) ein, mit der anschließend die weitere Abschätzung der Wirkung der Beeinflussungsmaßnahme erfolgen kann. Die folgenden Beispiele zeigen das stark variiierende Vorgehen bei der Schätzung des Befolgungsgrades:

NBA Münster-Wuppertal:

Verwendung eines einheitlichen geschätzten Befolgungsgrades von 30 % für alle nach Fahrtzielen aufgeteilten Teilströme (BECKMANN et al., 2000).

NBA München-Nord:

Steuerungsmodell gemäß dem Dernbach-Koblenz-Algorithmus DEKO; in Abhängigkeit vom Schaltplan wurden in der Simulation Befolgungsgrade von 40 %-70 % unterstellt (STEINAUER et al., 2001).

NBA Dernbach/Koblenz:

Analyse der Wirkungen einer Alternativroutenempfehlung für verschiedene Szenarien, in denen die

Befolgungsgrade schrittweise variiert wurden. Umgesetzt wird derjenige Schaltplan mit dem höchsten Nutzen. Dieser ergibt sich aus der Optimierung der Zielgröße „abgeleiteter Verkehrsanteil“ (KAYSER/KRAUSE, 1986).

Bei der Unterstellung konstanter, bestenfalls vom Schaltplan abhängiger Befolgungsgrade und ableitbarer Verkehrsanteile bleiben jedoch die folgenden Gesichtspunkte unberücksichtigt und zeigen die Problematik eines solchen Vorgehens:

- Die Quelle-Ziel-Matrix, d. h. auch die Größe der ableitbaren Ströme, ist zeitlich variabel. Individuelle Routenentscheidungen sind von vielen kausalen Faktoren beeinflusst. Die Parameter des Routenwahlverhaltens – und damit das Verhalten selbst – sind veränderlich.
- Die Zusammensetzung des Fahrerkollektivs hinsichtlich verhaltensrelevanter Merkmale ist veränderlich.
- Das menschliche Entscheidungsverhalten ist nicht eindeutig vorhersagbar und deshalb nicht in einer Konstanten abbildbar.

Wird der Befolgungsgrad in einem System zur Alternativroutensteuerung als Konstante unterstellt, so kann aufgrund der starken Schwankungen des realen Befolgungsgrades davon ausgegangen werden, dass Annahme und tatsächliche Ausprägung nur selten übereinstimmen. Die Annahme eines stark von der Realität abweichenden Befolgungsgrades kann daher auch dazu führen, dass Steuerungsstrategien ausgewählt werden, die für das Gesamtsystem keine optimale Lösung oder sogar eine Verschlechterung bewirken. Dabei sind die folgenden Zusammenhänge zwischen der Schätzung des Befolgungsgrades und der Effektstärke zu berücksichtigen:

- Überschätzung des Befolgungsgrades gegenüber der Realität führt zur Auswahl einer im Hinblick auf die gewünschten verkehrlichen Wirkungen zu schwachen Umleitungsmaßnahme. Der Anteil der abgeleiteten Fahrzeuge bleibt zu gering, um eine spürbare Entlastung des gestörten Streckenabschnittes herbeizuführen.
- Unterschätzung des Befolgungsgrades gegenüber der Realität führt zur Auswahl einer im Hinblick auf die gewünschten verkehrlichen Wirkungen zu starken Umleitungsmaßnahme. Es werden zu viele Fahrzeuge abgeleitet; Überlastungen einer Alternativroute können die Folge sein.

In der Praxis wird der Befolgungsgrad von Alternativroutenempfehlungen nur aus messbaren Verkehrskenngrößen und Merkmalen der räumlichen Beeinflussungssituation im Netz mit Hilfe phänomenologischer Befolgungsmodelle abgeschätzt.

Der Vergleich erfolgt somit auf der Basis von Beobachtungsdaten, die in einem solchen Teilnetz unter vergleichbaren Verkehrsbedingungen im unbeeinflussten und im beeinflussten Zustand, also beispielsweise in aufeinander folgenden, nicht allzu großen Zeitintervallen, erhoben werden können. Mit dieser Vorgehensweise wird unterstellt, dass die Verkehrsbedingungen (z. B. Quelle-Ziel-Relationen, Zusammensetzung der Kfz-Fahrer etc.) gleich sind und die Akzeptanz der empfohlenen Alternativroute ausschließlich durch den Unterschied der Schaltungszustände am Entscheidungsquerschnitt erklärbar ist. Abhängigkeiten des Befolgungsgrades von der Tageszeit, dem Wochentag, dem Tagestyp – sowie den damit zusammenhängenden relevanten Einflussfaktoren – können durch getrennte Erhebungen in entsprechenden Zeitintervallen ermittelt werden.

4.2 Begriffsdefinition

In der Literatur herrscht keine einheitliche Definition des Begriffes „Befolgungsgrad“. Die Begriffe „Befolgung“, „Befolgrungsrate“ und „Akzeptanz“ werden häufig synonym für den Begriff „Befolgungsgrad“ verwendet. In den wenigen Veröffentlichungen zu diesem Thema wird zudem der Befolgungsgrad nicht sachgerecht definiert. Aus diesem Grund werden zunächst diese Begriffe neu definiert.

Als „Befolgung“ wird in der vorliegenden Untersuchung das Ereignis verstanden, dass ein Fahrzeugführer aufgrund der Information einer Beeinflussungsanlage sein Verhalten ändert und der Empfehlung folgt. Im Fall einer Wechselwegweisung liegt eine Befolgung somit dann vor, wenn ein Fahrzeug aufgrund einer Routeninformation seine Hauptroute verlässt und die empfohlene Alternativroute wählt. Der Begriff „Befolgung“ ist damit nur in Bezug auf das einzelne Fahrzeug eindeutig.

Der Bezug auf einen Fahrzeugstrom erfordert eine Festlegung, ab welchem relativen Befolgungsanteil von „Befolgung“ im Gegensatz zur „Nicht-Befolgung“ gesprochen werden kann. Der relative Anteil von Fahrzeugen eines Fahrzeugstroms, der aufgrund der Information die Empfehlung befolgt, heißt „Befolgungsgrad“.

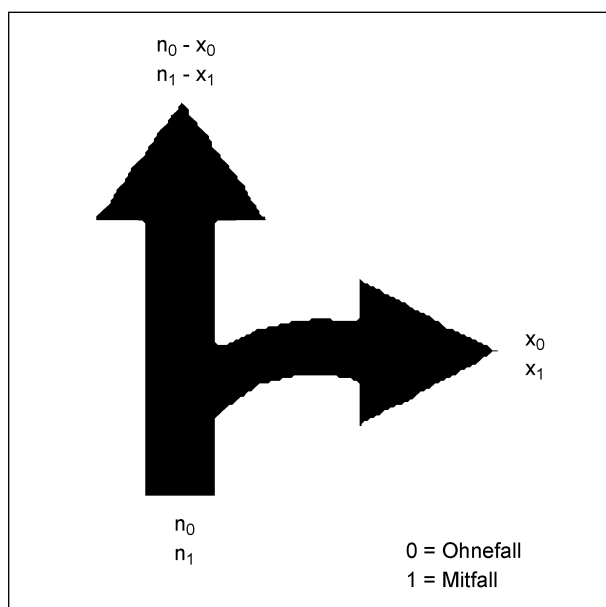


Bild 7: Skizze der relevanten Verkehrsströme an einer NBA

Bezüglich des einzelnen Fahrzeugs entspricht dem Befolgungsgrad die „Befolgungswahrscheinlichkeit“.

Die Definition von Befolgung und Befolgungsgrad basiert implizit auf dem Vergleich eines Zustandes mit Beeinflussung mit einem Zustand ohne Beeinflussung (Mit-Ohne-Vergleich). Eine mathematische Definition des Befolgungsgrades lässt sich im Fall einer Wechselwegweisungsanlage mit Empfehlung einer Alternativroute wie folgt angeben:

Betrachtet werden auf den Verzweigungspunkt zulaufende Verkehrsmengen (Gesamtströme) von

n_0 Fahrzeugen im Ohnefall und

n_1 Fahrzeugen im Mitfall

jeweils bezogen auf ein vorgegebenes Zeitintervall, von denen

x_0 Fahrzeuge im Ohnefall und

x_1 Fahrzeuge im Mitfall

auf die Alternativroute abzweigen (vgl. Bild 7).

Befolgungsgraddefinition nach KAYSER/KRAUSE

In dem bisher bekannten Verfahren von KAYSER/KRAUSE wird der Befolgungsgrad als die Differenz der beiden relativen Anteile – angegeben in Prozent – der Verkehrsstärken auf der Alternativroute im Fall mit Maßnahme (Mitfall) und ohne Maßnahme (Ohnefall) an den jeweiligen Verkehrs-

stärken vor dem Verzweigungspunkt (Gesamtstrom) definiert:

$$b = (p_1 - p_0) \cdot 100 \%$$

mit den relativen Anteilen der Alternativroute im Ohne- und Mitfall

$$p_0 = \frac{x_0}{n_0}$$

$$p_1 = \frac{x_1}{n_1}$$

Ausgehend von dieser Definition wurden bereits mehrere Anlagen zur Netzbeeinflussung hinsichtlich ihres Befolgungsgrades untersucht. (z. B. Verkehrslenkungsanlage Dernbach/Koblenz, Wechselwegweisung München-Nord, vgl. STEINAUER et al., 2001).

- Der Befolgungsgrad wird null, wenn im Ohne- und im Mitfall dasselbe Aufteilungsverhältnis des Verkehrs auf Haupt- und Alternativroute besteht. Der Befolgungsgrad wird jedoch nur dann gleich eins oder 100 %, wenn im Ohnefall $p_0 = 0$ und im Mitfall $p_1 = 1$ besteht.
- Nach der Definition von KAYSER/KRAUSE erreicht der Befolgungsgrad den Wert 100 % nicht, wenn die Alternativroute im Ohnefall mit Fahrzeugen ($x_0 > 0$) belegt ist. Dieser Fall muss aber in der Praxis immer unterstellt werden. Logischerweise ist jedoch zu fordern, dass der Befolgungsgrad 100 % beträgt, wenn alle Fahrzeuge, die im Ohnefall die Hauptroute wählen, im Mitfall die Alternativroute nutzen, unabhängig davon, wie groß der Verkehrsstrom auf der Alternativroute im Ohnefall ist.

Neudefinition des Befolgungsgrades

Um die genannten Nachteile zu beseitigen, erfolgt im Rahmen der vorliegenden Untersuchung eine andere Definition des Befolgungsgrades.

Bei gleichen Verkehrsnachfragebedingungen (z. B. Quelle-Ziel-Relationen) im Mitfall und im Ohnefall kann davon ausgegangen werden, dass von den n_1 Fahrzeugen im Mitfall ein gleich großer relativer Anteil von Fahrzeugen die Hauptroute nutzen würde wie im Ohnefall, sodass auf der Hauptroute

$$\frac{n_1 \cdot (n_0 - x_0)}{n_0} = n_1 \cdot (1 - p_0)$$

und auf der Alternativroute

$$\frac{n_1 \cdot x_0}{n_0} = n_1 \cdot p_0$$

Fahrzeuge zu erwarten wären, wenn keine Beeinflussung erfolgen würde. Da nur bei dem Fahrzeugstrom, der ohne Beeinflussung die Hauptroute benutzen würde, die Alternativroutenempfehlung wirksam sein kann, stellt dieser Verkehrsstrom die Grundgesamtheit dar, auf deren Basis eine Definition des Befolgungsgrades sinnvoll ist.

Die Anzahl der Fahrzeuge, die offensichtlich infolge der Beeinflussung die Alternativroute wählen, ist dann die Differenz der Fahrzeuganzahl auf der Alternativroute im Mitfall und der Fahrzeuganzahl, die die Alternativroute ohne Beeinflussung wählen würden, also

$$x_1 - n_1 \cdot p_0$$

Der Befolgungsgrad ist der relative Anteil dieser Fahrzeuganzahl an der Anzahl der Fahrzeuge auf der Hauptroute, wenn keine Beeinflussung bestände, und somit

$$b = \frac{x_1 - n_1 \cdot p_0}{n_1(n_0 - x_0)} = \frac{p_1 - p_0}{1 - p_0}$$

mit den beiden relativen Anteilen der Alternativroutenverkehrsströme im Ohne- und Mitfall

$$p_0 = \frac{x_0}{n_0} \quad \text{bzw.} \quad p_1 = \frac{x_1}{n_1}$$

Der so definierte Befolgungsgrad erfüllt dabei immer die logische Bedingung

$$0 \leq b \leq 1.$$

Diese Bedingung ist notwendig für eine sinnvolle Definition eines Befolgungsgrades:

Für $p_1 = p_0$, d. h. bei unverändertem Alternativroutenanteil, wird $b = 0$ (keine Wirkung).

Für $p_1 = 1$, d. h. alle Fahrzeuge nutzen die Alternativroute, wird $b = 1$.

Der Unterschied zu der Formel von KAYSER/KRAUSE besteht somit darin, dass die hier vorgeschlagene Definition allgemein gilt, während die Formel von KAYSER/KRAUSE nur dann der logischen Bedingung genügt, wenn im Ohnefall kein Fahrzeug die Alternativroute nutzt.

Vergleich der beiden Definitionen am Beispiel

Anhand eines einfachen Beispiels soll die Sinnfälligkeit dieser Definition veranschaulicht werden:

Mit den gegebenen Strömen

$$n_0 = 1.000; x_0 = 200$$

$$n_1 = 2.000; x_1 = 800$$

berechnen sich die Alternativroutenanteile zu

$$p_0 = 0,2 \text{ und}$$

$$p_1 = 0,4$$

und der Befolgungsgrad zu

$$b = \frac{0,4 - 0,2}{1 - 0,2} = \frac{0,2}{0,8} = 0,25 \text{ oder } b = 25 \%$$

Bei Verwendung der Formel von KAYSER/KRAUSE berechnet sich der Befolgungsgrad zu

$$B = \left(\frac{800}{2.000} - \frac{200}{1.000} \right) \cdot 100 = 20 \%$$

Dieses Ergebnis gibt jedoch lediglich Auskunft über die Veränderung der Abbiegerate im Beeinflussungszeitraum. Die Bezeichnung des ermittelten Wertes als Befolgungsgrad wäre nicht richtig, da die verwendete Formel nicht berücksichtigt, dass die Alternativroutenempfehlung nur für den Fahrzeugstrom wirksam sein kann, der im Ohnefall die Hauptroute benutzen würde.

Noch anschaulicher wird der Unterschied beider Berechnungsweisen bei Betrachtung des Extremfalls, dass alle Fahrzeuge befolgen und die Alternativroute wählen. Hier ergibt sich bei Verwendung der neuen Definition mit den gegebenen Strömen

$$n_0 = 1.000; x_0 = 200$$

$$n_1 = 2.000; x_1 = 2.000$$

der Befolgungsgrad b

$$b = \frac{1,0 - 0,2}{1 - 0,2} = \frac{0,8}{0,8} = 1,0 \text{ oder } b = 100 \%$$

Die Formel von KAYSER/KRAUSE liefert hingegen:

$$B = \left(\frac{2.000}{2.000} - \frac{200}{1.000} \right) \cdot 100 = 80 \%$$

Zur Berechnung von Befolgungsgraden von Alternativroutenempfehlungen an bestehenden Anlagen

wird daher die Verwendung der neuen Definition des Befolgungsgrades empfohlen.

4.3 Empirische Ermittlung des Befolgungsgrades

Der wahre Befolgungsgrad kann empirisch durch den Vergleich der gemessenen Verkehrsstärken im beeinflussten und nicht beeinflussten Zustand ermittelt werden. Da sich diese beiden Zustände ausschließen, sind im Prinzip nur zwei Vergleichsmöglichkeiten denkbar:

- Ein Vergleich der Verkehrsstärken in direkt aufeinander folgenden Zeitintervallen mit möglichst gleicher Verkehrsnachfragesituation im beeinflussten bzw. unbeeinflussten Zustand, z. B. an einem Tag (Vorher-Nachher-Vergleich), oder
- ein Vergleich der Verkehrsstärken in Zeitintervallen mit möglichst gleicher Verkehrsnachfragecharakteristik an verschiedenen Tagen, im beeinflussten bzw. unbeeinflussten Zustand (Mit-Ohne-Vergleich).

Da die Auswahl von Tagen mit nahezu identischen Verkehrsstärkeganglinien jedoch sehr schwierig und nicht unproblematisch ist, ist prinzipiell das erstgenannte Verfahren aus Gründen der Praktikabilität und der Validität vorzuziehen. Dabei ist die Länge der Messintervalle optimal zu wählen, die einerseits nicht zu groß sein sollten, um möglichst gleiche Verkehrssituationen zu haben, andererseits aber nicht zu klein sein dürfen, um ausreichend große Fahrzeugmengen zur Erfüllung des statistischen Signifikanzanforderungen erfassen zu können.

4.4 Bisherige Vorgehensweisen zur Bestimmung des Befolgungsgrades

Aus der Literatur sind einige pauschale Beurteilungsverfahren und mathematische Modelle bekannt, die unterschiedliche messbare Verkehrsgrößen als Erklärungsvariablen verwenden. Die beschriebenen Modelle wurden meist bereits Anfang der 80er Jahre entwickelt. Mit neueren Erhebungstechniken ist in den meisten Fällen auch eine verbesserte empirische Ermittlung der in den Modellen verwendeten Verkehrskenngrößen möglich.

In der Prinzipskizze (Bild 8) ist ein einfaches Beispiel für die Wahl der relevanten Messquerschnitte

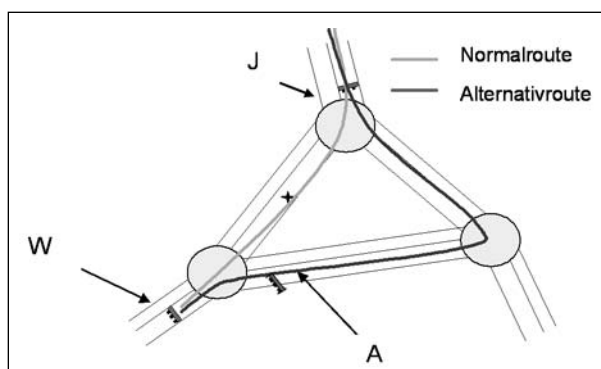


Bild 8: Prinzipskizze Messquerschnitte

dargestellt. Um störende Einflüsse durch zu- oder abfließenden Verkehr zwischen dem Beeinflussungsquerschnitt W (Standort des Wechselwegweisers) und dem Kontrollquerschnitt A auf der Alternativroute zu vermeiden, sollten zwischen den Messquerschnitten keine Zu- bzw. Abfahrten liegen.

Hierbei wird die Wirkung einer Beeinflussungsmaßnahme aus einem Vergleich der relevanten makroskopischen Verkehrsdaten des betroffenen Teilnetzes für den Fall mit und ohne Aktivierung einer Alternativroutenempfehlung ermittelt.

Die Verkehrsstärken im Ohne- und Mit-Fall seien:

$q_{W,0}$ Verkehrsstärke am Querschnitt W im unbeeinflussten Zustand,

$q_{A,0}$ Verkehrsstärke am Querschnitt A im unbeeinflussten Zustand,

$q_{W,1}$ Verkehrsstärke am Querschnitt W im beeinflussten Zustand,

$q_{A,1}$ Verkehrsstärke am Querschnitt A im beeinflussten Zustand.

4.4.1 Pauschale Beurteilung anhand von Verkehrsstärkeganglinien

Die Beurteilung der Wirksamkeit von Beeinflussungsanlagen wird in der Praxis häufig pauschal anhand von Tagesganglinien vorgenommen, in denen die gemessenen Verkehrsstärken auf einem Streckenabschnitt einer Autobahn in Richtung der empfohlenen Alternativroute minutenweise (in der Einheit Kfz/h) dargestellt werden. Sie erfolgt anhand des Vergleiches der Wertebereiche im unbeeinflussten und beeinflussten Zustand. Durch diesen Vergleich ist nur eine pauschale Aussage über die Wirkung einer Routenempfehlung aufgrund des optischen Eindrucks möglich (vgl. Bild 9).

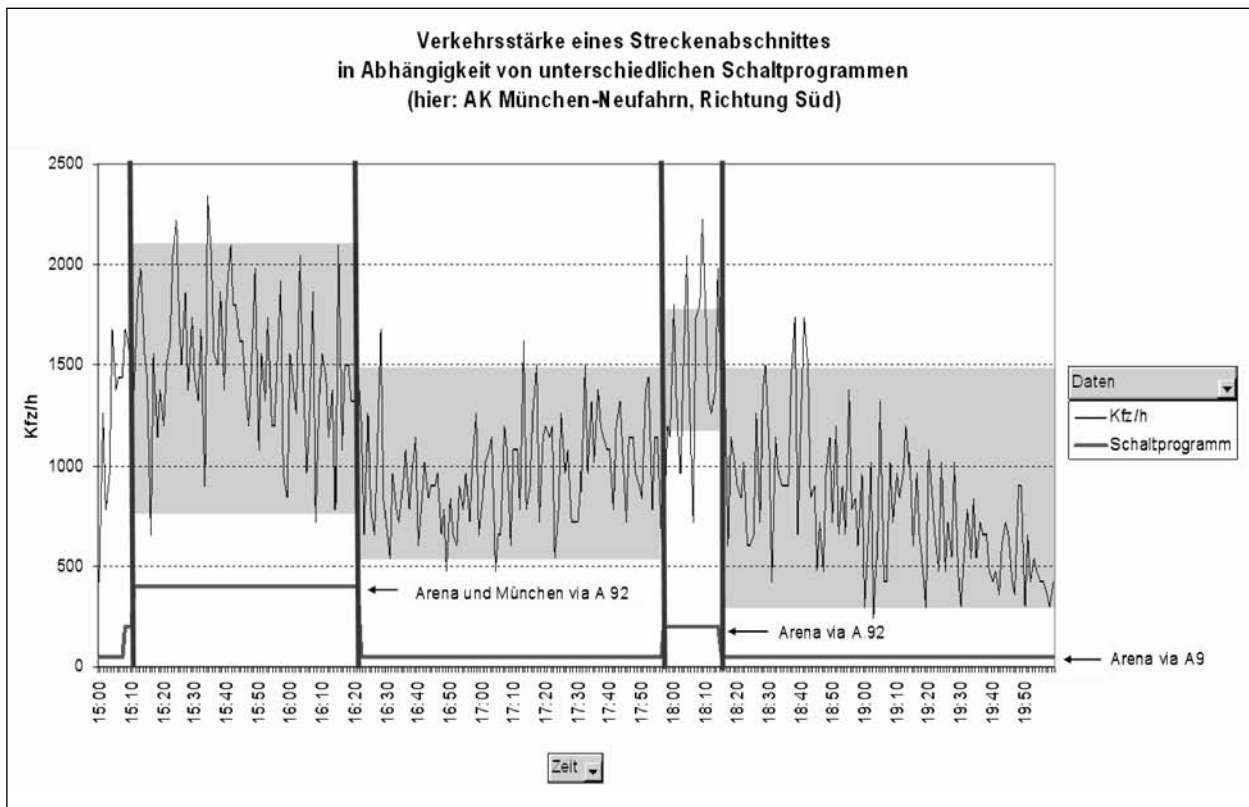


Bild 9: Beispiel einer Verkehrsstärkeganglinie zur Bewertung des Erfolges einer Beeinflussungsmaßnahme (Ausschilderung eines lokalen Ziels über substitutive Wechselwegweisung, Quelle: Autobahndirektion Südbayern)

Über Mittelwertbildung der in den einzelnen Zeitbereichen gemessenen Verkehrsstärken lässt sich zudem die relative Veränderung der Verkehrsstärke angeben. Dies entspricht jedoch nicht dem in Kapitel 4.2 definierten Befolungsgrad.

KAYSER und KRAUSE (1986) haben am Beispiel des Verkehrslenkungssystems Dernbach/Koblenz zwei Vorgehensweisen zur Bestimmung des Befolungsgrads aus Ganglinien im Hinblick auf die Genauigkeit der zu erzielenden Ergebnisse untersucht:

1. Abschätzung des Befolungsgrads aus Standardganglinien,
2. Ermittlung des Befolungsgrads unter Betrachtung von Einzeltagen.

Gemeinsam ist beiden Verfahren, dass für die Berechnung des Befolungsgrads der Anteil der abfahrenden Fahrzeuge am Gesamtverkehr im beeinflussten Zustand mit dem im unbeeinflussten Zustand verglichen wird.

4.4.2 Abschätzung des Befolungsgrads aus Standardganglinien

Zur Ermittlung des Befolungsgrads anhand von Standardganglinien wurden aus den im Verlauf eines Jahres aufgezeichneten Stundenwerten der Verkehrsstärken durch Mittelwertbildung über gleiche Tagesstunden eine mittlere Tagesganglinie für Sonn- und Feiertage und eine für Werktagen im unbeeinflussten Verkehrszustand gebildet (Standardganglinien). Diese Standardganglinien wurden jeweils an den Querschnitten der auf die Beeinflussungsanlage folgenden Ausfahrten ermittelt.

Der Effekt einer Alternativroutenempfehlung wird aus der Differenz zweier Ganglinien ermittelt (Bild 10). Hierbei wird die Ganglinie des Tages einer Schaltung der Wechselwegweisungsanlage (dargestellt als Strichlinie) mit einer mittleren Ganglinie des entsprechenden Wochentages (Standardganglinie, dargestellt als durchgezogene Linie) verglichen.

Die Differenz der beiden Ganglinien zu einem definierten Zeitpunkt während der Aktivierung der Umleitungsempfehlung wird als „umgeleitete Verkehrsmenge“ betrachtet, die als Indikator für die Befolgung der Anzeige dient. Als Ergebnis stellten

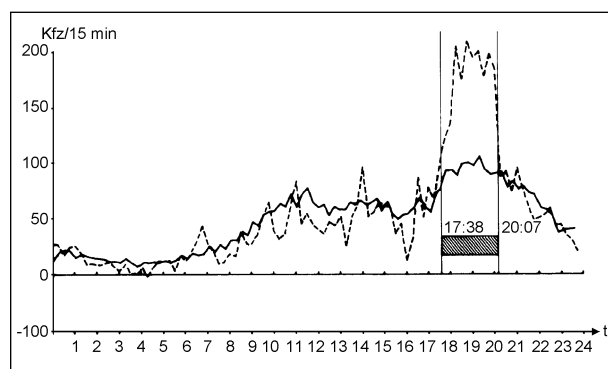


Bild 10: Ermittlung der Befolgung anhand von Standardganglinien (KAYSER/KRAUSE, 1986)

die Autoren fest, dass der so vorgenommene Vergleich „einen guten Eindruck von der Größenordnung der Befolgung an diesem Tag“ gibt.

Selbst bei relativ kurzen Beeinflussungsphasen von 15 Minuten waren deutliche Sprünge in der Ganglinie, die nur Stundenwerte enthält, zu verzeichnen. Die Autoren schließen mit dem Fazit, dass mit dieser Methode „ein einfaches und effektives Verfahren zur Befolgungsermittlung vorgestellt wurde, mit dem sich auch an anderen Wechselwegweisungssystemen ohne sehr großen Aufwand ähnliche Betrachtungen anstellen lassen“.

Hierzu wird kritisch angemerkt, dass bei der Ermittlung der Befolgung anhand von Standardganglinien Varianzen bzgl. der Verkehrsverteilung sowie der Verkehrsstärken, die innerhalb eines Tagestyps auftreten, aber auch Effekte anderer Einflussfaktoren (z. B. zusätzliche Informationen über den Verkehrszustand) vernachlässigt werden. Bei diesem Vorgehen wird angenommen, dass die Verteilung der Verkehrsströme auf die möglichen Routenalternativen rein zeitlich (Uhrzeit, Tag) charakterisiert ist. Aufgrund dieser Einschränkungen ist die Validität dieses Verfahrens kritisch zu beurteilen.

4.4.3 Ermittlung des Befolgungsgrades unter Betrachtung von Einzeltagen

Bei diesem Verfahren wird zunächst eine „mittlere Abbiegerate“ für einen definierten Zeitbereich eines Tages berechnet². Die Abbiegerate wird dargestellt

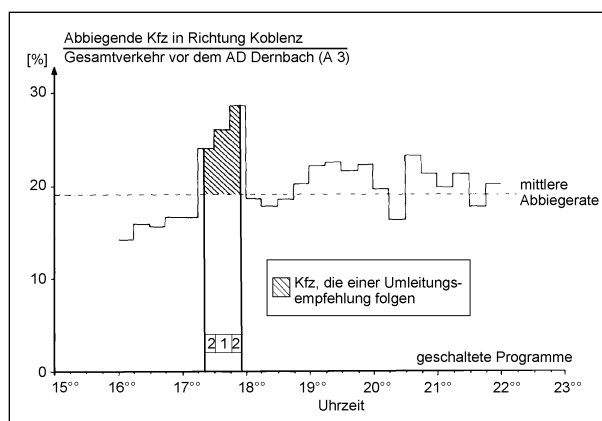


Bild 11: Ermittlung der Befolgung unter Betrachtung von Einzeltagen (KAYSER/KRAUSE, 1986)

durch den Prozentsatz $\theta_{A,t}$ der abbiegenden Fahrzeuge auf der Alternativroute A im Zeitintervall t. Dieser berechnet sich zu

$$\theta_{A,t} = \frac{q_{A,t}}{q_{W,t}} \cdot 100$$

Das arithmetische Mittel aller so berechneten Abbiegeraten ergibt die mittlere Abbiegerate im definierten Zeitbereich (vgl. Bild 11, gestrichelte Linie).

4.4.4 Berücksichtigung von Fahrtzielen

Die Genauigkeit der Berechnung von Befolgungsgraden kann gesteigert werden, wenn der auf einen beeinflussten Querschnitt zulaufende Verkehrstrom hinsichtlich seiner Ziele segmentiert werden kann.

Die getrennte Betrachtung der Befolgung für die einzelnen Zielströme hat den Vorteil, dass auch bei sich ändernden Anteilen der Zielströme am Gesamtverkehr eine genauere Abschätzung der Befolgung vorgenommen werden kann. Darüber hinaus ist eine Quantifizierung des „Mitzieheffektes“ möglich, die wichtig ist, um bei unterschiedlicher Schilderstellung auch die Auswirkungen auf die nicht direkt angesprochenen Zielgebiete berücksichtigen zu können.

Zur Bestimmung von Zielen bzw. Zielgebieten wird das bisher praktizierte Verfahren der Erfassung der Zulassungsorte auf Kfz-Kennzeichen mit Videotechnik und Zuordnung auf Zielgebiete auch von Praktikern immer noch als „relativ zuverlässig“ angesehen. Da sich die Technik zur automatischen, genauen Erfassung von Kfz-Kennzeichen deutlich weiter entwickelt hat, kann dieses Vorgehen auch weiterhin sinnvoll angewendet werden.

² KAYSER/KRAUSE (1986) ermitteln die mittlere Abbiegerate für den Zeitbereich von 16-22 Uhr (ohne Berücksichtigung beeinflusster Zeiten), da in diesem Zeitraum auch die Mehrzahl der Schaltungen an der von ihnen untersuchten NBA vorlagen.

Ein anderes Verfahren, das die Abschätzung einer Verkehrsmatrix aus automatisch durchgeführten Zählungen unter Einsatz mathematischer Modelle ermöglicht, ist in FGSV (1995) beschrieben. Dabei handelt es sich um die Schätzung von Quelle-Ziel-Beziehungen mit Hilfe von Querschnittszählungen.

Das Verfahren wurde aufgrund der fehlenden Aktualität manueller Erhebungen sowie der technischen und rechtlichen Schwierigkeiten, die Verfahren zur direkten Erfassung von Verkehrsbeziehungen mit sich bringen (Einhaltung von Richtlinien des Datenschutzes), entwickelt. Vorteile dieser Art der Bestimmung von Fahrtzielen sind:

- Die Quelle-Ziel-Matrix kann für beliebige Zeiten ermittelt werden,
- die Kosten für die Infrastruktur sind oft bereits durch das Verkehrssteuerungssystem gedeckt,
- diese Art der Ermittlung hat keinen Einfluss auf den Verkehrsablauf.

Der Einsatz dieses Verfahrens ist zwar meist erheblich preiswerter als die Anwendung manueller oder automatischer Erfassungsmethoden, wirft aber auch einige Probleme auf. Da aus vorhandenen Querschnittszählungen i. d. R. keine eindeutige Lösung, sondern höchstens ein Lösungsraum für die gesuchte Matrix der Verkehrsbeziehungen abgeleitet werden kann, ist das Verfahren auf zusätzliche Informationen (z. B. aus historischen Matrizen) angewiesen.

Dieses Verfahren ist daher nur für die grobe Abschätzung von Quelle-Ziel-Beziehungen verwendbar und hat für die Ermittlung von Befolungsgraden nur geringen praktischen Nutzen.

Im Hinblick auf das Ziel einer genaueren Bestimmung von Befolungsgraden für Teilverkehrsströme müssen jedoch auch andere Verfahren in Betracht gezogen werden. Hierzu sei auf die in Kapitel 6 näher beschriebenen Verfahren verwiesen:

- persönliche Befragung von Verkehrsteilnehmern,
- Erfassung von Kfz-Kennzeichen über mehrere Beobachtungsquerschnitte,
- Erfassung mittels Mobilfunk-Ortung,
- Erfassung mittels satellitengestützter Ortung (GPS).

4.5 Statistischer Nachweis der Wirksamkeit einer Beeinflussungsanlage mittels Versuchsschaltungen

Eine mögliche Methode zur Ermittlung des Befolungsgrades von Alternativroutenempfehlungen ist die Schaltung von Anlagen zu Versuchszwecken, also ohne tatsächlichen Störfall bzw. Beeinflussungsgrund. Bei systematischer Variation der Schaltung von Anzeigen unter sonst gleichen Randbedingungen kann die Wirksamkeit von Schildanzeigen relativ gut nachgewiesen werden. Tatsächliche Gründe für die Entscheidung (Befolgung/Nichtbefolgung) können jedoch nicht erhoben werden.

Da die Akzeptanz einer Anlage wesentlich von ihrer Zuverlässigkeit abhängt, werden die negativen Auswirkungen einer solchen Vorgehensweise – vor allem bei häufigerer Anwendung – oft stärker eingeschätzt als der tatsächlich daraus resultierende Nutzen. Aus Sicht von Anlagenbetreibern wird dieses Vorgehen daher kritisch gesehen. Da es jedoch möglich ist, anhand sehr kurzer Schaltungszeiträume die Wirksamkeit der Anzeige durch Anwendung statistischer Testverfahren nachzuweisen, die die Zufälligkeit der Zusammensetzung des Verkehrstroms berücksichtigen, kann dieses Verfahren für Versuchszwecke grundsätzlich empfohlen werden.

Aus hoheitlicher Sicht (Verkehrsbehörden) sind Einwände zu erwarten, wenn Versuchsschaltungen in Zeitbereichen ohne tatsächlichen Störfall eingesetzt werden. Werden hierfür zeitliche Bereiche gewählt, die als Grenzbereich zwischen ungestörtem und gestörtem Verkehrszustand bezeichnet werden können, sind derartige Einwände jedoch vermeidbar.

Versuchsschaltungen dienen zum einen der Analyse der Wirksamkeit bestehender Beeinflussungsanlagen und zum anderen der Vorausabschätzung der Wirksamkeit von geplanten Beeinflussungsanlagen:

- Durch Anwendung kurzzeitiger Versuchsschaltungen (5 bis 10 Minuten) kann die Wirkung der Beeinflussungsanlage statistisch gesichert überprüft werden. Durch Anwendung der Versuchsschaltungen bei unterschiedlichen Verkehrszuständen (z. B. Verkehrsnachfrage an verschiedenen Tagen und zu verschiedenen Zeiten) können darüber hinaus die Wirkungen der Randbedingungen untersucht werden. Dazu sind die verschiedenen Verkehrszustände zu

kategorisieren und die Versuchsschaltungen an entsprechenden Tagen und Tageszeiten einzusetzen. Durch die systematische Analyse der Einflüsse der Randbedingungen ist eine zuverlässigere Prognose des Befolungsgrades bei bestimmten Verkehrszuständen möglich.

- Durch systematische Untersuchungen der Befolungsgrade an bestehenden Anlagen, die sich hinsichtlich Art und Inhalt unterscheiden, ist eine relativ kostengünstige und vergleichsweise zuverlässige Analyse des gesamten Spektrums der Wirkungen von Versuchsanlagen und Verkehrszuständen möglich. Daraus kann für die geplante Anlage durch Analogieschluss die Abschätzung der Wirksamkeit erfolgen.

4.5.1 Statistischer Test für die Wirksamkeit

Die Wirkung einer Beeinflussungsanlage kann bereits mit kurzzeitigen Versuchsschaltungen und kleinen Verkehrsmengen mittels statistischer Tests geprüft und nachgewiesen werden. Für den statistischen Nachweis ist es lediglich erforderlich, dass im Ohne- und im Mit-Zustand jeweils mindestens 50 Fahrzeuge erfasst werden, von denen (in beiden Zuständen zusammengenommen) mindestens 5 Fahrzeuge sowohl die Normal- als auch die Alternativroute wählen. Dazu reichen im Allgemeinen Versuchsschaltungen von – je nach vorherrschender Verkehrsstärke – 5 bis 10 Minuten Dauer aus.

Zum Nachweis der statistisch gesicherten Wirksamkeit der Beeinflussungsanlage ist es notwendig, die Existenz des Befolungsgrades, d. h. b größer als null, nachzuweisen. Mit der Definition des Befolungsgrades in Kapitel 4.2 und den dort eingeführten Symbolen und Bezeichnungen kann die Wirkungsweise der Beeinflussungsanlage wie folgt nachgewiesen werden:

Es gelten dazu folgende Bezeichnungen:

$$n = n_0 + n_1$$

$$p_0 = \frac{x_0}{n_0}$$

$$p_1 = \frac{x_1}{n_1}$$

$$p = \frac{x_0 + x_1}{n_0 + n_1}$$

Wie oben beschrieben, müssen die folgenden, sehr schwachen Voraussetzungen erfüllt sein:

$$n_0 \geq 50 \text{ Kfz}$$

$$n_1 \geq 50 \text{ Kfz}$$

$$n \cdot p > 5 \text{ und } n \cdot (1 - p) > 5$$

Für den Fall, dass die Befolungsgrade in beiden Zuständen gleich groß sind ($p_1 = p_0$), liegt keine Wirkung der Beeinflussungsanlage vor. Aber auch dann, wenn die Beeinflussungsanlage in Wahrheit nicht wirksam ist, werden im Allgemeinen die beiden gemessenen Befolungsgrade p_0 und p_1 im Ohne- bzw. im Mitfall im konkreten Einzelfall nicht genau gleich sein, da sie Einzelausprägungen (Realisationen) von Zufallsgrößen P_0 bzw. P_1 sind. Deshalb wird im Einzelfall je nach Größe der Stichproben eine mehr oder weniger große positive oder negative Differenz

$$p_1 - p_0$$

bestehen.

Unter der Annahme, dass die Beeinflussungsanlage in Wahrheit keine Wirkung ausübt, ist der aus den Messwerten im Einzelfall ermittelte Prüfwert

$$z = \frac{p_1 - p_0}{\sqrt{p \cdot (1 - p) \cdot \left(\frac{1}{n_0} + \frac{1}{n_1} \right)}}$$

- unter den oben genannten Voraussetzungen
- -eine Realisierung einer (0,1)-normalverteilten Zufallsgröße Z .

Damit kann die sog. Nullhypothese

$$H_0: Z \leq 0$$

d. h., dass die Beeinflussungsanlage keine positive Wirkung ausübt, getestet werden gegenüber der „Alternativhypothese

$$H_1: Z > 0.$$

Die Hypothese H_0 ist demnach mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit α (oder der Sicherheitswahrscheinlichkeit $1 - \alpha$) abzulehnen, wenn gilt

$$z > z_{1-\alpha}$$

wobei $z_{1-\alpha}$ die $(1 - \alpha) \cdot 100\%$ -Fraktile der Standardnormalverteilung darstellt und aus der entsprechenden statistischen Tabelle für die Irrtumswahrscheinlichkeit α abzulesen ist.

Für die Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 5\%$, d. h. die statistische Sicherheitswahrscheinlichkeit 95% , beträgt dieser Wert

$$z_{0,95} = 1,645.$$

Damit ist die Wirkung der Beeinflussungsanlage mit einer statistischen Sicherheit von 95 % nachgewiesen, wenn für den aus den Messwerten im Einzelfall gebildeten Prüfwert z gilt:

$$z > 1,645.$$

Ist dies nicht der Fall, so ist die Wirkung der Beeinflussungsanlage nicht nachgewiesen. (Das bedeutet jedoch noch nicht, dass das Gegenteil, nämlich dass sie nicht wirksam ist, bewiesen wäre.)

Beispiel zur Überprüfung der Wirkung einer Alternativroutenempfehlung

In dem in Bild 8 skizzierten System wird über eine Beeinflussungsanlage am Querschnitt W ab 08:00 Uhr eine Empfehlung für die Nutzung der alternativen Route A angezeigt. Die folgenden Verkehrsströme werden gemessen (Bedingung: der Beeinflussungszeitraum liegt in einem Zeitbereich, der nicht den Übergang von Spitzen- zur Normalstunde beinhaltet):

Am Querschnitt W in den Zeitintervallen

07:45 bis 08:00 Uhr: $n_0 = 120$ Kfz,

08:00 bis 08:15 Uhr: $n_1 = 101$ Kfz,

am Querschnitt A in den Zeitintervallen

07:45 bis 08:00 Uhr: $x_0 = 52$ Kfz,

08:00 bis 08:15 Uhr: $x_1 = 50$ Kfz.

Vor der Berechnung des Befolgungsgrades ist zunächst der Nachweis der tatsächlichen Wirksamkeit der Anzeige zu führen. Dazu sind mit den Messwerten

$$n = n_0 + n_1 = 120 + 101 = 221$$

$$p_0 = \frac{x_0}{n_0} = \frac{52}{120} = 0,43$$

$$p_1 = \frac{x_1}{n_1} = \frac{50}{101} = 0,49$$

$$p = \frac{x_0 + x_1}{n_0 + n_1} = \frac{52 + 50}{120 + 101} = \frac{102}{221} = 0,46$$

zuerst die Voraussetzungen zu überprüfen:

$$n_0 = 120 \text{ Kfz} \geq 50 \text{ Kfz}$$

$$n_1 = 101 \text{ Kfz} \geq 50 \text{ Kfz}$$

$$n \cdot p = 221 \cdot 0,46 = 102 > 5$$

und

$$n \cdot p \cdot (1 - p) = 221 \cdot 0,46 \cdot (1 - 0,46) = 55 > 5$$

Da die Voraussetzungen erfüllt sind, ist der Prüfwert z näherungsweise standardnormalverteilt:

$$\begin{aligned} z &= \frac{p_1 - p_0}{\sqrt{p \cdot (1 - p) \cdot \left(\frac{1}{n_0} + \frac{1}{n_1}\right)}} \\ &= \frac{0,49 - 0,43}{\sqrt{0,46 \cdot (0,54) \cdot \left(\frac{1}{120} + \frac{1}{101}\right)}} \\ &= 0,891 \end{aligned}$$

Da der Prüfwert den kritischen Bereich

$$z > 1,645$$

nicht erreicht, ist die Wirksamkeit der Beeinflussungsanlage mit einer statistischen Sicherheit von 95 % nicht nachgewiesen. Der Unterschied zwischen den relativen Fahrzeuganteilen auf der Alternativroute im Mit- und Ohnefall von 0,06 kann somit noch als zufällig angesehen werden.

Das bedeutet andererseits jedoch nicht, dass damit nachgewiesen ist, dass die Beeinflussungsanlage nicht wirksam ist. Denn es ist möglich, dass lediglich die Stichprobenumfänge von $n_0 = 120$ und $n_1 = 101$ Fahrzeugen für den Nachweis der Wirksamkeit nicht ausreichend sind, wie folgende Überlegung zeigt:

Es wird angenommen, dass die Versuchsschaltung bei exakt gleichen Verkehrsverhältnissen viermal (oder viermal so lange) geschaltet wäre und in Summe somit die vierfachen Zählwerte geliefert hätte, nämlich

$$n_0 = 480, n_1 = 404, x_0 = 208, x_1 = 200$$

In diesem Fall bleiben die Werte für p_0 , p_1 und p gleich, nur der Prüfwert z verdoppelt sich und überschreitet den kritischen Testwert

$$z = 1,792 > 1,645$$

Somit ist die Wirksamkeit der Beeinflussungsanlage mit einer statistischen Sicherheit von 95 % in diesem Fall nachgewiesen. Die Erklärung ist, dass der größere Stichprobenumfang in diesem Fall eine zuverlässigere Aussage zulässt, dass der Unterschied zwischen p_0 und p_1 von 0,06 signifikant ist.

4.5.2 Notwendiger Stichprobenumfang zum Nachweis der Wirksamkeit

Im Allgemeinen ist es natürlich von Interesse, vor der Versuchsschaltung die Größe der notwendigen Stichprobenumfänge im Ohne- und im Mitfall zu kennen, um einen Unterschied zwischen den wahren Anteilswerten P_0 und P_1 nachweisen zu können.

Für diesen Nachweis sind sowohl im Ohne- wie auch im Mitfall

$$n = n_0 = n_1 \geq (z_{1-\alpha} + u_{1-\alpha})$$

$$n \geq (z_{1-\alpha} + u_{1-\alpha}) \cdot \frac{p_1 \cdot (1-p_1) + p_0 \cdot (1-p_0)}{(p_1 - p_0)^2}$$

Fahrzeuge in die Stichprobe einzubeziehen. Bei einer geforderten statistischen Sicherheit von 95 % ist zu setzen

$$z_{0,95} = 1,645$$

$$u_{0,95} = 1,960$$

Da immer gilt

$$p_0(1-p_0) \leq 0,25 \text{ und } p_1(1-p_1) \leq 0,25$$

errechnet sich als Obergrenze für den notwendigen Stichprobenumfang

$$n = n_0 = n_1 \geq \frac{1,8}{(p_1 - p_0)^2}$$

Für den Nachweis einer wahren Differenz von

$$p_1 - p_0 = 0,06$$

mit einer statistischen Sicherheit von 95 % wäre somit – selbst im ungünstigsten Fall, dass die beiden Werte von p_0 und p_1 um 0,5 liegen – ein Stichprobenumfang von je 500 Fahrzeugen im Ohne- und im Mitfall ausreichend.

Die Messzeiträume sollen also so bemessen sein, dass diese notwendige Anzahl von Fahrzeugen in den beiden Vergleichszeiträumen beobachtet werden können. Ihre Längen hängen somit von der Verkehrsstärke ab.

5 Einflussfaktoren auf die Befolgung

In verschiedenen Untersuchungen (z. B. SACHSE, 2000; ALBRECHT et al., 1978) wurde festgestellt,

dass Befolgungsgrade von Alternativroutenempfehlungen an identischen Anlagen mit gleichem Anzeigehalt starke Varianzen in Abhängigkeit vom Schaltungszeitpunkt (Wochentag, Tageszeit) aufweisen. Dies weist darauf hin, dass beobachtbare Veränderungen der räumlichen Verkehrsverteilung, die bei Schaltung einer Alternativroutenempfehlung auftreten, nicht ausschließlich durch die angezeigte Information bzw. Routenempfehlung erklärt werden können. Auch führen diese Beobachtungen zu dem Schluss, dass eine zuverlässige Prognose der Wirkungen einer Alternativroutenempfehlung, die nur die Anzeigehalte berücksichtigt, nicht möglich ist.

Die zuverlässige Abschätzung der Befolgung von Alternativroutenempfehlungen müsste also sinnvollerweise unter Berücksichtigung kausaler Faktoren erfolgen. Der folgende Abschnitt dient daher der Darstellung wichtiger, in der Literatur auffindbarer Erkenntnisse über objektive und subjektive Einflussfaktoren. Anschließend werden anhand der Ergebnisse Kategorien von Einflussfaktoren gebildet, die zur Vorbereitung empirischer Untersuchungen zur Ermittlung des Befolgungsgrades von Alternativroutenempfehlungen dienen können.

Der so berechnete Befolgungsgrad gibt die Gesamtwirkung einer Schaltung wieder und lässt einen direkten Schluss auf die Entlastungswirkung einer Alternativroutenempfehlung für die nachfolgenden Strecken der Normalroute zu. Allerdings können bei diesem Verfahren (ähnlich wie bei der Ermittlung von Befolgungsgraden anhand von Standardganglinien) zufällige Schwankungen der auch ohne Umleitungsempfehlung auftretenden Abbiegeraten während des beeinflussten Zeitraums nicht berücksichtigt werden. Da bei der hier beschriebenen Vorgehensweise jedoch immer nur der Verhältniswert Abbiegestrom zu Gesamtstrom als Eingangswert für die Berechnung dient, dürften Einflüsse auf die Höhe der Verkehrsstärke weitgehend eliminiert werden.

5.1 Empirische Erkenntnisse

Entscheidungen über das Verkehrsverhalten (bezogen auf die vorliegende Fragestellung v. a. das Routenwahlverhalten) fallen nicht allein auf der Basis objektiver Situationsmerkmale (Status der Person, äußere Bedingungen, wie z. B. Merkmale des Verkehrssystems), sondern werden auch aufgrund subjektiver Einschätzungen getroffen. Die objektive Situation wird dabei durch individuelle

Wahrnehmung in ein subjektiv verzerrtes Bild transformiert, das gegenüber dem objektiven Bild unvollständig und verfälscht ist. Auf der Basis dieser subjektiven Situation fällt eine Person ihre Entscheidung.

Während des Entscheidungsprozesses nimmt eine Person die folgenden Abwägungen vor (ERKE, 1980):

- Abwägung über den mit der Befolgung verbundenen Umweg,
- Abwägung über die Stauwahrscheinlichkeit auf der Alternativroute.

ERKE nennt weiterhin Kriterien, die auf die Entscheidung einen Einfluss ausüben können:

- Erwartung, auf welcher Route die Fahrt am ehesten beendet wird (Kriterium Reisezeit),
- Erwartung, wie komfortabel die Fahrt vonstatten geht (Wetter, Art der Umleitungsstrecke),
- Erfahrung mit Alternativroutenempfehlungen (schlechte Erfahrungen bewirken niedrige Befolgungsgrade),
- Plausibilität der Wechselwegweisung,
- Netzkenntnis.

Aus Untersuchungen zur Wirksamkeit von allgemeinen Verkehrszeichen und -einrichtungen, zum Teil auch aus Erhebungen mit Wechselverkehrszeichenanlagen, ist bekannt, dass die Wirksamkeit von verschiedenen Merkmalen der Beeinflussungsanlage und von Merkmalen der Verkehrssituation sowie der Umfeldsituation abhängt (vgl. z. B. HOFFMANN/LEICHTER, 1999):

- Gestaltung des Verkehrszeichens
Beispiel: maximale Zahl von Textzeilen (ein Verkehrsteilnehmer kann maximal drei Textzeilen aufnehmen).
- Regelwert
Beispiel: Vorfahrtszeichen und Einfahrtverbote sind wirksamer als Halteverbote und Geschwindigkeitsbeschränkungen.
- Begründbarkeit der Empfehlung
Begründete Empfehlungen sind wirksamer als nicht begründete.
- Wiederholung der Empfehlung im Verlauf einer Beeinflussungsanlage
Wiederholung bewirkt eine bessere Befolgung.

- Häufigkeit des Wechsels der Anzeigehalte
Die Häufigkeit des Wechsels kann die Nutzung und Befolgung beeinflussen, v. a. bei Personen, die häufig den beeinflussten Querschnitt passieren.
- Lokale Verkehrsbedingungen am beeinflussten Querschnitt
Die Verkehrsdichte beeinflusst den einzelnen Kraftfahrer, er lässt sich vom Strom mitnehmen (Mitzieheffekt).
- Situative Bedingungen
Die gebaute und natürliche Umgebung, Wetter, Zustand der Straßenoberfläche, Beleuchtung sowie Zusatzinformationen beeinflussen das Entscheidungsverhalten.
- Perzeption
Hierunter werden die fahrerseitige Erfassung, Verarbeitung und Umsetzung von Informationen verstanden.

In einer weiteren Untersuchung von ERKE (1980) wurden Verkehrsmengenzählungen, Fahrerverhaltensbeobachtungen sowie Interviews mit Verkehrsteilnehmern auf Parkplätzen, an Tankstellen und in Raststätten entlang eines Autobahnabschnittes durchgeführt. Die Interviews dienten zur Erfassung von Kriterien mit Einfluss auf die Wirksamkeit von Wechselverkehrszeichen. Wesentliche Ergebnisse waren:

- Ein gewisser (jedoch nicht signifikanter) Einfluss des Fahrtzwecks wurde festgestellt: Lkw-Fahrer und Fahrer mit Fahrten zu beruflichen Zwecken befolgten eine Empfehlung seltener als Fahrer mit sonstigen privaten Zwecken oder Urlaubsreisende. Der Einfluss des Fahrtzwecks muss auch bei heutigen Verhältnissen kritisch beurteilt werden: Einerseits ist es denkbar, dass Verkehrsteilnehmer, die eine bestimmte Route sehr häufig befahren, Erfahrungen über den zu erwartenden Verkehrszustand haben und die Befahrung alternativer Routen Unwägbarkeiten birgt, welche den Nutzen der Alternative verringern. Andererseits ist es aber auch denkbar, dass Fahrer, die eine bestimmte Relation häufig befahren, mehrere Routenalternativen kennen und daher eher zu Abweichungen von der Normalroute bereit sind.
- Die Länge der Tagesstrecke hatte einen signifikanten Einfluss auf die Befolgung: Fahrer, die längere Strecken unterwegs waren, befolgten häufiger als andere. Unter der Annahme einer

Korrelation zwischen Fahrtzweck und Streckenlänge (Arbeitswege kurz, sonstige private Zwecke und Urlaubsreisen lang) kann auch diese Beobachtung auf heutige Verhältnisse übertragen werden.

- Bei Angabe des Umleitungsgrundes war die Bereitschaft zur Befolgung größer. Diese Beobachtung wurde durch jüngere Untersuchungen bestätigt (SIEGENER et al., 2005).

Trotz der zum Untersuchungszeitpunkt (1980) geringen Vertrautheit der Verkehrsteilnehmer mit Verkehrsbeeinflussungsanlagen können diese Erkenntnisse dennoch, wie gezeigt, durchaus auf heutige Verhältnisse übertragen werden.

FRIEBOLIN (1990) beschreibt menschliche Aspekte, die die Akzeptanz von Wechselverkehrszeichen beeinflussen. Diese sind v. a.

- die Wahrnehmbarkeit,
- die Auffälligkeit sowie
- die Begründbarkeit von Anzeigehalten.

Die Annahmen über die Wirkungen dieser Einflüsse auf das Entscheidungsverhalten des Kfz-Nutzers konnten durch Ergebnisse aus empirischen, wahrnehmungspsychologischen Untersuchungen (u. a. SIEGENER et al., 2005) gestützt werden.

KAYSER et al. (1991) beschreiben eine empirische Untersuchung, in der 274 Lkw-Fahrer bezüglich ihrer Reaktionen auf Beeinflussungsmaßnahmen, insbesondere auf Alternativroutenempfehlungen und Verkehrsfunk, in persönlichen Interviews befragt wurden. Die Befragung fand auf Rastplätzen, die sich im Bereich der Verkehrsbeeinflussungsanlage Dernbach/Koblenz befanden, statt. Der Anteil der in der Stichprobe befindlichen Fahrzeuge betrug ca. 6 % der im Befragungszeitraum auf den betreffenden Streckenabschnitten fahrenden Lkw. Untersucht wurden die Erfahrungen der Kraftfahrer, die Befolgung und die individuelle Einschätzung von Umleitungsempfehlungen. Die Auswertung lieferte als Ergebnis, dass die Länge des Umweges sowie die Art der Störung als etwa gleich wichtig beurteilt wurden (jeweils ca. 40 % der Nennungen). Ein weiteres wichtiges Kriterium war die Kenntnis der Umleitungsstrecke (ca. 16 % der Nennungen).

Das Interview beinhaltete auch Fragen nach der Einschätzung der Wichtigkeit der Einsparung von Fahrzeit („Fahrzeit“), Einsparung von Kraftstoff („Kosten“) sowie Stauinformation und/oder flüssiger

Verkehr auf der Umleitungsstrecke („Verkehrsfluss“). Hier zeigte sich der Faktor „Verkehrsfluss“ als dominant – 85 % aller Befragten stuften diesen Faktor als „sehr wichtig“ ein – gegenüber der Fahrzeit (73 %) und den Kosten (42 %). Aus heutiger Sicht muss jedoch aufgrund hoher Treibstoffkosten sowie Straßenbenutzungsgebühren von einer höheren Bedeutung des Kostenfaktors ausgegangen werden.

Für die Befolgung von Meldungen des Verkehrsfunks wurde ermittelt, dass die Länge des gemeldeten Staus höheren Einfluss auf die Entscheidung hat (92 % „sehr wichtig“) als die Tatsache, dass eine empfohlene Umleitungsstrecke über eine Autobahn oder ausgeschilderte Umleitungsstrecken führt (59 %).

Mit einer weiteren Frage wurde erhoben, welche Verkehrsstörungen nach Einschätzung der Lkw-Fahrer so schwerwiegend sind, dass die Empfehlung einer alternativen Route befolgt wird. Die schwerwiegendsten Ereignisse waren demnach „schwere Unfälle“ oder „große Staus“ (jeweils ca. 50 % von insgesamt 417 Nennungen). Auf die Ereignisse „Sperrung“ und/oder „Baustelle“ entfielen nur 20-25 % der Nennungen. Das „Wetter“ wurde in 24 % der Fälle genannt.

Die von KAYSER et al. (1991) erzielten Ergebnisse zeigen einen starken Zusammenhang zwischen Befolgung von Empfehlungen des Verkehrsfunks und Empfehlungen, die über Wechselverkehrszeichen dargeboten wurden. Fahrer die Umleitungsempfehlungen des Verkehrsfunks befolgten, richteten sich im Regelfall auch nach den Wechselverkehrszeichen. Die große Bedeutung des Verkehrsfunks für die Entscheidung über die Befolgung oder Nicht-Befolgung einer Alternativroutenempfehlung stellte auch TSAVACHIDIS (2002) in einer Befragung mittels Methoden der Stated Response fest.

Die Auswertung der Befragung von KAYSER et al. (1991) ergab Befolgungsgrade für den Lkw-Verkehr in einer Größenordnung von ca. 15 %. Der gleichzeitig ermittelte Befolgungsgrad des Gesamtverkehrs am Beeinflussungsquerschnitt nahm Werte der gleichen Größenordnung an. PEETA et al. (2000) stellen in diesem Zusammenhang jedoch fest, dass Lkw-Fahrer in sehr viel geringerem Maße beeinflussbar sind als Pkw-Fahrer. Für eine genaue Ermittlung von Befolgungsgraden müssen sowohl aus diesem Grund als auch aufgrund der Tatsache, dass die tageszeitlichen Verläufe der Ganglinien der Fahrzeuggruppen Lkw und Pkw stark unter-

schiedlich sind, zwingend fahrzeuggruppenspezifische Daten vorliegen. Eine Untersuchung von TSA-VACHIDIS (2002) am Autobahnkreuz Neufahrn zeigte allerdings, dass die Befolgungsgrade einer Wechselwegweisung für den Lkw-Verkehr aufgrund extremer Streuungen der Abbiegeraten (aufgrund erheblich kleinerer Verkehrsstärken sowie der verstärkten Pulkbildung in dieser Fahrzeuggruppe) im mikroskopischen Bereich und deren geringen nachzuweisenden Veränderungen auf Basis gemessener Verkehrsdaten nicht sinnvoll ermittelt werden können.

BOGENBERGER et al. (2006) ermittelten in einer empirischen Studie (unter Anwendung von Methoden der Stated Response), dass das individuelle Routenwahlverhalten primär von der Verkehrssituation am Entscheidungspunkt abhängt und erst in zweiter Instanz von den persönlichen Eigenschaften eines Fahrers.

Die gleiche Studie enthält Hinweise auf die Bedeutung von Anzeigen bzw. Empfehlungen in onBoard-Navigationssystemen sowie den damit verbundenen, persönlichen Erfahrungen. Hierzu wird festgestellt:

- Fahrer mit geringer praktischer Erfahrung mit einem individuellen Verkehrsinformationsdienst³ vertrauen diesem am meisten (hohe, direkte Befolgungswahrscheinlichkeit).
- Nutzer kollektiver Informationen (TMC-Meldungen über Verkehrsfunk) sind hingegen weitaus kritischer. Sie befolgen eine Empfehlung häufiger, wenn diese durch Informationen aus anderen Quellen gestützt wird.
- Höchste Ansprüche an die Information haben Nutzer individueller (kostenpflichtiger) Dienste. Ohne Empfehlung eines solchen Dienstes fällt die Entscheidung gegen die Befolgung aus (andere Informationsquellen außer dem Dienst sind irrelevant).

Immer wieder gibt es Befürchtungen, dass Anlagen zur kollektiven Verkehrsbeeinflussung durch Wechselwegweisung in Anbetracht zunehmender Ausstattungsraten von Pkw mit Navigationssystemen einen Bedeutungsrückgang erleben werden. Hierzu sei Folgendes angemerkt:

Sowohl die derzeitigen Ausstattungsraten als auch prognostizierte Werte zu dieser Kenngröße zeigen ein eher zurückhaltendes Wachstum:

- Das Statistische Bundesamt gibt für das Jahr 2005 einen Anteil von knapp fünf Prozent der Haushalte an, die mit einem Kfz-Navigationsgerät ausgestattet sind (Quelle: im Internet: <http://www.destatis.de/basis/d/evs/budtab21.php>),
- die Gesellschaft für Konsumforschung (GfK) bezifferte im August 2005 den Ausstattungsgrad der deutschen Haushalte an Auto-Navigationssystemen mit zehn Prozent; (Quelle: im Internet: www.gfk.de/produkte/eigene_pdf/KW34Navigationssysteme.pdf,
- das Institut für Demoskopie Allensbach hat sogar nur eine Ausstattungsrate von acht Prozent festgestellt (Allensbacher Markt- und Werbeträgeranalyse (AWA) 2006; Quelle: im Internet: <http://www.awa-online.de/>).

Ein nochmals geringerer Anteil der Navigationssysteme hat jedoch auch dynamische Funktionen, d. h. die Möglichkeit zur Berücksichtigung von TMC-Daten und damit der Fähigkeit zur Anpassung von Routenempfehlungen aufgrund aktueller Verkehrsinformationen. Das Wachstum bei fest eingebauten Navigationsgeräten wird von Marktforschern (TNSInfratest, Aug. 2006) bei weniger als 15 % in zwei Jahren gesehen.

Auch wenn der Anteil mobiler Navigationssysteme in den hier genannten Anteilen nicht enthalten ist – dieser erhöht den momentanen Ausstattungsgrad vermutlich jedoch auf nicht mehr als 20 % –, können die o. g. Befürchtungen aus heutiger Sicht nicht bestätigt werden.

Untersuchungen zum Befolgungsgrad von Routenempfehlungen in Australien beschreibt HIDAS (zitiert in HARTZ, 2005). Aufgrund statistischer Analysen vorliegenden Datenmaterials wurden die folgenden Hypothesen formuliert:

- Je größer die auf einem Schild angezeigte, zu erwartende Reisezeitverlängerung ist, desto größer ist der Befolgungsgrad.
- Die Angabe „lange Wartezeit“ bewirkt höhere Befolgungsgrade als die Angabe „Wartezeit“.
- Wird lediglich die Information „Wartezeit“ ausgegeben, hat die zusätzliche Angabe der Ursache einen signifikanten Einfluss auf den Befolgungs-

³ Zu den individuellen Verkehrsinformationsdiensten zählen die Autoren auch Navigationssysteme, da hierüber aktuelle Verkehrsinformationen übermittelt werden.

grad. Die Ursache „Unfall“ bewirkt höhere Befolungsgrade als die Ursachen „hohe Verkehrsdichte“ und „Bauarbeiten“.

- Alter und Geschlecht der Fahrer haben keinen signifikanten Einfluss auf die Befolgung von Routenempfehlungen.

FÄRBER und FÄRBER (in: SIEGENER et al., 2005) haben in Interviews mit 60 zufällig ausgewählten Autofahrern u. a. untersucht, unter welchen Voraussetzungen ein Verkehrsteilnehmer bei Stau eine alternative Route befährt. Demnach haben Autofahrer keine klaren Strategien für das Verhalten in Staus.

Als Teilergebnis der Untersuchung wurden u. a. die folgenden Aussagen getroffen:

- Es konnten keine eindeutigen, spezifischen Gründe gefunden werden, die zum Verbleib auf der Normalroute trotz Kenntnis eines Staus geführt haben.
- Gute Ortskenntnis scheint eine wichtige Voraussetzung für die Bereitschaft zur Wahl einer alternativen Route zu sein.
- Die Information über die Länge eines Staus (Angabe in km) ist offensichtlich ein entscheidender Einflussfaktor für die Entscheidung zur Befolgung.
- Weitere wichtige Angaben/Informationen, die einen Einfluss auf die Befolgung haben, sind demnach eine Umleitungsempfehlung, die Stauursache sowie der Ort des Staubeginns.
- Die Verlängerung der Zeit, die durch die Befahrung einer Umleitungsstrecke zu erwarten ist, hatte für die Befragten keinen Einfluss auf die Befolgung.

PEETA und RAMOS (2006) haben mit Methoden der Stated Preference (SP) sowohl Befragungen im Verkehrssystem (248 Interviews) als auch E-Mail- (402 Antworten) und Internet-Befragungen (34 Antworten) durchgeführt, um Einflussfaktoren auf die Befolgung von Wechselwegweisern zu ermitteln. Da in SP-Befragungen von einer befragten Person Angaben zu mehreren Entscheidungssituationen gemacht werden, standen 1.984 Datensätze zur Auswertung zur Verfügung.

Die Synthese der drei Befragungsergebnisse lieferte die folgenden, durchaus kritisch zu beurteilenden Hypothesen:

- Grundsätzlich gibt es einen inhärenten Widerstand gegen die Befolgung von Wechselwegweisern. Verkehrsteilnehmer bleiben tendenziell eher auf der Normalroute, v. a. wenn nur geringe oder gar keine Informationen über die Art und den Umfang einer Störung vorliegen.
- Männliche Autofahrer befahren eher alternative Routen als weibliche. Dies lässt sich mit der höheren Risikobereitschaft zur Optimierung der Fahrzeit begründen.
- Jüngere (unter 40-Jährige) Fahrer befolgen eher als ältere. Begründung ist hier ebenfalls eine höhere Risikobereitschaft.
- Autofahrer, die denselben beeinflussten Querschnitt häufig passieren (z. B. Pendler), nutzen eher alternative Routen.
- Ein höherer Bildungsstand eines Autofahrers hat Einfluss auf die Wertschätzung der Fahrzeit und führt somit zu höheren Befolungsgraden.
- Je mehr Informationen über die Art, Länge, Dauer und Lage der Störung übermittelt werden, desto größer wird der Befolungsgrad.
- Die Information über eine zu erwartende Fahrtzeitverlängerung aufgrund einer Störung ist ab einer Dauer von mehr als 10 Minuten relevant.

Fazit

Einflussfaktoren auf die Befolgung von Anzeigen bzw. Empfehlungen auf Schildern kollektiver Verkehrsbeeinflussungsanlagen wurden ansatzweise bereits in mehreren empirischen Studien (vielfach im englischsprachigen Raum) untersucht. Häufig wurden fahrerseitige Einflussfaktoren mittels persönlicher Befragungen ermittelt. Bisherige Ergebnisse zeigen jedoch im Wesentlichen, dass es Einflüsse gibt. Darüber hinaus wurde die Mehrdimensionalität des Routenwahlproblems belegt. Die Effekte individuell verschieden ausgeprägter Einflussfaktoren auf den Befolungsgrad von Wechselwegweisungsanlagen wurden jedoch nur ansatzweise untersucht. Darüber hinaus konzentrieren sich nahezu alle Untersuchungen auf den Typus des Pendlers, da diese Gruppe am ehesten ein wiederkehrendes Verhalten zeigt und so – im Sinne der Übertragbarkeit von Ergebnissen – für die bisher üblichen Mit-Ohne-Fall-Vergleiche geeignet ist.

Die Anzeigen von Schildern im Verlauf einer Anlage zur Wechselwegweisung wirken in den meisten

Fällen nicht allein, sondern immer zusammen mit anderen Einflussfaktoren. Diese Einflüsse sind Gegenstand der Wirkungsanalyse von Netzbeeinflussungssystemen, wengleich die Berücksichtigung aller relevanten Einflussfaktoren kaum möglich ist. Es sollten allerdings zumindest die wichtigsten Parameter des Entscheidungsumfeldes wie der Verkehrsfunk (KAYSER et al., 1991) oder die im Verlauf einer Anlage zur Wechselwegweisung vorherrschende Qualität des Verkehrsablaufs (BOGENBERGER et al., 2006) berücksichtigt werden.

Für die genaue Ermittlung der Bedeutung einzelner Einflussfaktoren für das Verhalten bei der Entscheidung über die Routenwahl an Anlagen zur Wechselwegweisung muss erschwerend berücksichtigt werden, dass derartige Anlagen meist in Gesamtkonzepten zur Verkehrsbeeinflussung eingebunden sind (z. B. zusammen mit einer Streckenbeeinflussung) und die tatsächlichen Ursachen einer Entscheidung auch aus diesem Grund nicht eindeutig einer bestimmten Maßnahme zugeordnet werden können. Die Frage ist hierbei z. B., ob ein Verkehrsteilnehmer ausschließlich aufgrund der Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit eine Entscheidung zur Wahl einer alternativen Route trifft oder ob diese Entscheidung nur bei gleichzeitig ausgeschilderter Alternativroutenempfehlung getroffen wird. Hypothesen über die Stärke bestimmter Einflüsse sowie Wechselwirkungen zwischen Einflussfaktoren fehlen bisher.

Es ist daher festzustellen, dass eine genaue, auf einzelne Verkehrsteilnehmer oder auch auf den Gesamtverkehr bezogene Vorhersage des erzielbaren Befolgungsgrades einer bestimmten Anzeige an einem bestimmten Standort in einem bestimmten Straßennetz bisher nicht möglich ist.

5.2 Einflusskategorien

Wie in Kapitel 5.1 gezeigt wurde, existieren viele kausale Faktoren, die auf die Entscheidung eines Verkehrsteilnehmers zur Befolgung einer Alternativroutenempfehlung einwirken. Die Vielfalt der ermittelten Einflüsse auf die Entscheidung zur Wahl einer Route macht eine Kategorisierung notwendig. Die Einflussfaktoren lassen sich wie folgt kategorisieren:

1. Merkmale der Fahrt

- Quelle und Ziel, vorhandene Alternativen der Fahrtbeziehung,

- Fahrtzweck in Korrelation mit Zeitbindung.

2. Einflussfaktoren der alternativen Route(n)

- Anzahl von Entscheidungsmöglichkeiten im Verlauf einer Netzbeeinflussungsanlage,
- Länge (Umwegfaktor),
- Straßenkategorie,
- Qualität der Alternativroute in Relation zur Normalroute (Reisezeit, Fahrkomfort, ...).

3. Einflussfaktoren des Fahrers

- Ortskenntnis/Fahrerfahrung,
- Vorhandensein routenbezogener Informationen (mehr Informationen verstärken die Neigung zum Routenwechsel),
- Präferenzen und Systemakzeptanz,
- Perzeption (Relevanz der Information, Erkennung und Umsetzung für die eigene Fahrt).

Die genannten Einflussfaktoren können als statisch bezeichnet werden, da sie mittel- bis langfristig unveränderlich sind. Sie gelten unabhängig von einzelnen Fahrten.

Treten im Verlauf einer spezifischen Fahrt Veränderungen der Randbedingungen in Form von aktuellen Verkehrsinformationen auf, müssen diese als zusätzliche (dynamische) Einflüsse bei der Ermittlung von Befolgungsgraden von Alternativroutenempfehlungen berücksichtigt werden. Daher haben neben den zuvor genannten statischen auch die folgenden dynamischen Faktoren Einfluss auf das Routenwahlverhalten:

1. Eigene Beobachtung

- Fähigkeit zur Prognose des Verkehrs auf Normal- und Alternativroute aufgrund der am Entscheidungspunkt vorherrschenden Verkehrsdichte und/oder des Verhaltens der anderen Verkehrsteilnehmer (Mitzieheffekt),
- Erfahrungen mit spezifischer Anlage (z. B. hinsichtlich der Systemgüte/Plausibilität der angezeigten Information sowie hinsichtlich der Schaltstrategie).

2. Umfeldbedingungen

- Wetter, Witterung, Sicht (bei ungünstigen Verhältnissen am Entscheidungspunkt nimmt die Bereitschaft zur Wahl einer alternativen Route ab).

3. Störungen

- Ausprägung (Reisezeiterhöhung, Geschwindigkeitsreduzierung, Wartezeiterhöhung),
- Art (Stau, Staugefahr, stockender/dichter Verkehr) und Ursache (Unfall, Baustelle etc.),
- Häufigkeit; hier muss unterschieden werden zwischen Störungen aufgrund wiederkehrender Ereignisse (hohes Verkehrsaufkommen in verkehrlichen Spitzenzeiten) und Störungen aufgrund zufälliger Ereignisse (Unfälle, Bauarbeiten).

4. Inhalt, Art und Form der Information

- Relevanz für spezifische Fahrt,
- Verhaltensempfehlung,
- Verkehrszustandsbeschreibung/-prognose (Unfall usw.).

5. Informationsumfeld

- Anzahl und Art der vorhandenen Informationsquellen (Beschilderung, Verkehrsfunk, Navigationssystem, Informationsdienste).

Nur durch gleichzeitige Berücksichtigung der wichtigsten dieser Faktoren lässt sich die Routenwahl infolge einer Alternativroutenempfehlung ausreichend erklären. Das bedeutet, dass für die Wirkungsanalyse von Anlagen zur Wechselwegweisung zunächst die Effektstärke der oben kategori-

sierten Einflüsse anhand empirischer Untersuchungen festzustellen ist, um mit den Ergebnissen Forschungshypothesen zu formulieren, die sowohl den Einfluss einzelner Faktoren als auch deren Wechselwirkungen beschreiben.

5.3 Qualitative Abschätzung der Effektstärke einzelner Einflussfaktoren

Zur Ermittlung von Befolungsgraden von Alternativroutenempfehlung sind mindestens die wichtigsten Einflussfaktoren zu berücksichtigen. Welche sind jedoch wichtig? Grundsätzlich ist eine Abstufung schwierig, da die individuelle Gewichtung der ermittelten Einflussfaktoren nicht bestimmbar ist. Um dennoch einen Hinweis auf die Stärke der jeweiligen Einzeleffekte zu erhalten, wird eine Schätzung der Wichtigkeit der Einflussfaktoren unter Berücksichtigung der in Kapitel 5.1 dargestellten Ergebnisse sowie anhand plausibler Annahmen vorgenommen. Die Bilder 12 und 13 können mit dieser Schätzung als Hilfestellung für die Vorbereitung der Vorstudie einer wissenschaftlichen Untersuchung zur Analyse von Wirkungen von Alternativroutensteuerungen dienen. Es wird unterschieden zwischen unbedingt erforderlichen Daten (+) und wünschenswerten Daten (o). Den Bildern ist zu entnehmen, ob der jeweilige Einflussfaktor erhoben werden muss oder ob die erforderlichen Daten ggf. in Sekundärstatistiken („Datenbestand“) vorliegen. Die in den Bildern gewählte Reihenfolge der Ein-

Einflussfaktor/Merkmal	Merkmals-träger	Wichtigkeit (+/o)	Datenquelle
Statische Einflüsse			
Quelle und Ziel, Fahrtweite	Fahrt	+	Erhebung
vorhandene Alternativen der Fahrtbeziehung	Fahrt	+	Datenbestand
Anzahl von Entscheidungsmöglichkeiten im Verlauf einer NBA	Netz	o	Datenbestand
bekannte Alternativen der Fahrtbeziehung	Fahrt	+	Erhebung
Fahrtzweck in Korrelation mit Zeitbindung	Fahrt	o	Erhebung (alternativ: Ableitung des Einflussfaktors aus der Verkehrsart)
Länge der Alternativroute -> Reisezeit	Alternativroute	+	Datenbestand
Güte der Alternativroute im Verhältnis zur Originalroute (Fahrkomfort)	Alternativroute	o	Datenbestand
Ortskenntnis/Fahrerfahrung	Fahrer	+	Erhebung (alternativ: Ableitung des Einflussfaktors aus der Verkehrsart)
Präferenzen und Systemakzeptanz	Fahrer	+	Erhebung
Perzeption	Fahrer	+	Erhebung

Bild 12: Wichtigkeit statischer Einflussfaktoren

Einflussfaktor/Merkmal	Merkmals-träger	Wichtigkeit (+/o)	Datenquelle
Dynamische Einflüsse			
Vorherrschende Verkehrsdichte	Netz	+	Datenbestand ¹
Eigene Beobachtung	Fahrer	+	Erhebung
Wetter, Witterung, Sicht	Umfeld	o	Datenbestand
Informationsumfeld (vorhandene Informationsquellen (kollektiv, individuell))	Umfeld/ Fahrer	+	Kollektiv: Datenbestand Individuell: Erhebung
Ausprägung der Störung	Netz	o	Datenbestand
Art der Störung	Netz	o	
Ursache der Störung	Netz	+	
Anzeige „Ausprägung“	Schild	+	Datenbestand
Anzeige „Art“	Schild	o	
Anzeige „Ursache“	Schild	+	
Anzeige „Verhaltensempfehlung“	Schild	+	
Anzeige „Verkehrszustandsbeschreibung/-prognose“	Schild	+	
¹ Datenbestand weist hier darauf hin, dass die Art und die Ausprägung von Störungen aus Datenbeständen z. B. von Polizei und/oder Verkehrszentralen abgerufen werden sollten. Wünschenswert wäre mit diesen Daten eine Aussage z. B. in der Form: Es gab am Montag, dem 8.12. zwischen 8 und 9 Uhr einen gemeldeten Stau im Streckenabschnitt A–B. Es ist dann zu überprüfen, ob diese Störungen in die Alternativroutensteuerung eingeflossen sind und wie sich das Befolgungs- bzw. Abbiegeverhalten in diesem Zeitbereich darstellte.			

Bild 13: Wichtigkeit dynamischer Einflussfaktoren

flussfaktoren ist an die im vorangegangenen Kapitel vorgenommene Kategorisierung angelehnt.

5.4 Übertragbarkeit des Einflusses kausaler Faktoren auf andere Beeinflussungsanlagen

Es wäre ideal, wenn die in Kapitel 5.2 genannte Kategorisierung dazu verwendet werden könnte, um Anlagen zur Netzbeeinflussung eindeutig vergleichen und Erhebungsergebnisse zum Einfluss einzelner kausaler Faktoren, die an einzelnen Anlagen erzielt wurden, übertragen zu können.

Hierzu sei jedoch angemerkt, dass ein korrekter Vergleich zweier Anlagen, die Empfehlungen auf alternative Routen ermöglichen, neben der bloßen systemtechnischen Ähnlichkeit einer weitgehenden Übereinstimmung aller in Kapitel 5.2 genannten Faktoren bedarf. Dies ist in der Realität nahezu ausgeschlossen. Außerdem ist es für eine quantitative Vergleichbarkeit verschiedener Alternativsteuerungssysteme erforderlich, dass bei der Datenerhebung und Wirkungsanalyse ähnliche Methoden angewendet wurden. Auch dies ist nur in Ausnahmefällen überhaupt möglich. Da verschiedene Untersuchungen zum gleichen Thema oft unterschiedliche Ergebnisse liefern, können Vergleiche nur in qualitativer Form unter Berücksichtigung der systemspezifischen Unterschiede erfolgen.

5.5 Hypothesen über den Einfluss kausaler Faktoren auf den Befolgungsgrad von Alternativroutenempfehlungen

In Kapitel 5.1 sind bereits einige Forschungshypothesen genannt, die unter Berücksichtigung von Ergebnissen empirischer Untersuchungen formuliert wurden. Dennoch bedarf es für die Ermittlung von Befolgungsgraden von Alternativroutenempfehlungen weiterer explorativer Studien mit dem Ziel, weitere v. a. spezifische Hypothesen zu bilden, die sich sowohl auf einzelne Einflussfaktoren beziehen als auch auf mögliche Wechselwirkungen untereinander. Spezifische Hypothesen unterscheiden sich von unspezifischen dadurch, dass sie Angaben über die erwartete Effektgröße enthalten (z. B. „Der Anteil von Befolgern einer Empfehlung in einem Verkehrsstrom, der eine Information über die Länge eines Staus erhält, ist um 3 % höher als der Anteil von Befolgern eines anderen Verkehrsstroms, der eine Information über die zu erwartende Reisezeitverlängerung erhält“). Bild 1 zeigt die Arten unspezifischer Forschungshypothesen.

Spezifische Hypothesen konnten bisher aufgrund der nicht ausreichenden Datengrundlage und des Fehlens von Auswertungen zu Wechselwirkungen von Einflussfaktoren nicht formuliert werden. Eine Hilfestellung zur Auswahl von Erhebungsverfahren,

Art der Hypothese	Beispiel
Bivariate Zusammenhangshypothesen	„Zwischen dem Informationsgehalt über eine Störungsursache und der Befolgung einer damit verbundenen Umleitungsempfehlung besteht ein positiver Zusammenhang.“
Multivariate Zusammenhangshypothesen	„Zwischen den Einflussfaktoren X1, X2, ..., Xn des Merkmals „Ableitbarkeit eines Fahrzeugs“ und dem Merkmal „Befolgung“ Y besteht ein Zusammenhang.“
Unterschiedshypothesen	Beispiel 1: „Die Angabe der Information über die Länge eines Staus bewirkt höhere Befolgungsgrade als die Angabe der zu erwartenden Reisezeitverlängerung.“ Beispiel 2: „Der Befolgungsgrad ortskundiger Verkehrsteilnehmer ist niedriger als der Befolgungsgrad ortsunkundiger Verkehrsteilnehmer.“ Beispiel 3: „Die Art der Störung – Unfall, Baustelle, hohes Verkehrsaufkommen – beeinflusst die Entscheidung über Befolgung oder Missachtung.“
Veränderungshypothesen	„Der Befolgungsgrad einer Alternativroutenempfehlung hängt vom Bekanntheitsgrad der Anzeigeform ab.“ (z. B.: Die erst seit kurzem eingesetzten Wegweiser mit zus. Textinformationen werden seltener befolgt als Wechselwegweiser, die den seit langem existierenden, orange-farbenen Delestage-Pfeil verwenden.)

Bild 14: Arten unspezifischer Hypothesen

Art der Hypothese	geeignete Pläne zur Hypothesenprüfung
Bivariate Zusammenhangshypothesen	Prüfung anhand von Korrelationskoeffizienten (Regressionsanalyse)
Multivariate Zusammenhangshypothesen	konfirmative Faktorenanalyse
Unterschiedshypothesen	mehrfaktorielle Untersuchungspläne
Veränderungshypothesen	Pretest/Posttest-Pläne (möglichst mit mehr als zwei Messzeitpunkten)

Bild 15: Geeignete Pläne zur Prüfung unspezifischer Hypothesen

Einflussfaktor	<ul style="list-style-type: none"> • geeignet ◦ bedingt geeignet - ungeeignet 									
	Mobilfunkgestützte Beobachtung	Satellitengestützte Beobachtung	Kenzeichenerfassung mittels Videotechnik	Schriftliche Befragung	Persönliche Befragung im Verkehrssystem	Telefonische Befragungen	Mobilitäts- oder Fahrertagebücher	Erhebung potenziellen Verhaltens	Probeschaltungen an VBA	Schätzung von Quelle-Ziel-Beziehungen mit Hilfe von Querschnittszählungen
Quelle und Ziel (großräumig), Fahrtweite	•	•	◦	•	•	-	•	-	-	◦
dem Fahrer bekannte Alternativen der Fahrtbeziehung	-	-	-	◦	•	-	◦	-	-	-
Fahrtzweck in Korrelation mit Zeitbindung	◦ ¹	-	-	•	•	-	•	-	-	-
Ortskenntnis/Fahrerfahrung	-	-	-	◦	•	-	◦	-	-	-
Motive der Routenwahl und Systemakzeptanz	-	-	-	◦	•	•	◦	•	◦	-
Perzeption	-	-	-	-	◦	-	-	•	◦	-
fahrerseitige Bewertung der Verkehrslage durch eigene Beobachtung	-	-	-	-	•	-	◦	-	-	-
Art und Anzahl fahrerseitig vorhandener Informationen über den Verkehrszustand	-	-	-	◦	•	-	•	-	-	-

¹ wenn die Erhebung mit einem elektronischen Fragebogen zu Merkmalen der Fahrt durchgeführt wird

Bild 16: Übersicht über mögliche Verfahren zur Erhebung relevanter Einflussfaktoren

die zur Schaffung einer entsprechenden Datengrundlage geeignet sind, gibt die in Bild 16 dargestellte Übersicht. Detailbeschreibungen dieser Verfahren enthält Kapitel 6.

Abhängig von der Art der Hypothese ist die Auswahl des geeigneten Plans zu ihrer Überprüfung.

Es ist zu beachten, dass die Prüfpläne nur dann angewandt werden können, wenn die entsprechenden Kriterien zu Umfang und Qualität der untersuchten Stichprobe erfüllt sind (vgl. Kapitel 6.4).

Geeignete Pläne zur Prüfung unspezifischer Hypothesen sind in Bild 15 dargestellt. Damit ist eine Auswahl des jeweils geeigneten Prüfplans abhängig von der Art der Hypothese (Bild 14) möglich. Zur weiteren Erläuterung der Anwendung der dargestellten Prüfpläne sei auf einschlägige Literatur verwiesen, z. B. BORTZ (1995).

6 Empirische Methoden und Verfahren zur Ermittlung von Befolgungsgraden

Ein effizienter Ansatz zur genauen Abschätzung von Befolgungsgraden einer Alternativroutenempfehlung erfordert neben der Kenntnis der Merkmale des Verkehrskollektivs auch das Verständnis der Wirkungszusammenhänge mit den wichtigsten Beschreibungsgrößen des Verkehrsteilnehmers/Fahrers und seines Verhaltens (fahrerseitige Wirkungen).

Wollte man alle relevanten Parameter ungeachtet der Größe ihres Einflusses auf die Entscheidung zur Befolgung oder Nichtbefolgung einer Alternativroutenempfehlung berücksichtigen, so müsste zur Ermittlung von deren Wirkungen eine Unterteilung des Fahrerkollektivs zunächst nach den Merkmalen

- Soziodemografie,
- Fahrt,
- relevante Routen sowie der
- Präferenzen

erfolgen.

Eine derart differenzierte Betrachtung ist jedoch nur unter sehr hohem Aufwand (und auch dann nur näherungsweise) durch umfassende Erhebungen im Netz zu erzielen, da zum einen die absolute Größe des Verkehrsstroms, zum anderen aber auch dessen Zusammensetzung hinsichtlich der Anteile der Quelle-Ziel-Ströme in Abhängigkeit von der Zeit variieren. In ähnlicher Weise schwanken in einem Verkehrsstrom fahrer- und fahrtspezifische Merkmale wie die soziodemografische Struktur, die Fahrtzweckanteile, Zeitbindung und Präferenzstruktur.

Für die empirische Erhebung des Verkehrsverhaltens kommen verschiedene Methoden experimenteller Untersuchungen in Betracht. Grundlage für die Beschreibung von Verkehrsverhaltenserhebungen sind die „Empfehlungen für Verkehrserhebungen (EVE)“ (FGSV, 1991). Dort werden systema-

tisch grundlegende Empfehlungen zur Durchführung von Erhebungen gegeben sowie Vor- und Nachteile bzw. Fehlerquellen der möglichen Erhebungsverfahren dargestellt. Bild 17 zeigt eine Systematisierung der in den EVE dargestellten Methoden der Verkehrserhebungen.

Neue Möglichkeiten zur Durchführung von Erhebungen sind darüber hinaus in den „Hinweisen zu Methoden computergestützter Erhebungen zum individuellen Verkehrsverhalten“ (FGSV, 2003) beschrieben. Diese enthalten grundlegende Beschreibungen sowohl neuer, computergestützter Erhebungsverfahren (einschließlich mobilfunk- und satellitengestützter Verfahren) als auch bekannter konventioneller Verfahren (also solcher ohne Computereinsatz). Jedes Verfahren wird anhand der folgenden Eigenschaften charakterisiert und bewertet:

- Verfahren zur Auswahl geeigneter Stichproben,
- Aufwand,
- Leistungsfähigkeit,
- Validität und Genauigkeit der Daten,
- Qualität,
- Befragtenfreundlichkeit,
- rechtliche Rahmenbedingungen (Datenschutz).

Auf der Grundlage der o. g. Empfehlungen und Hinweise sowie der Berücksichtigung von Erkenntnis-

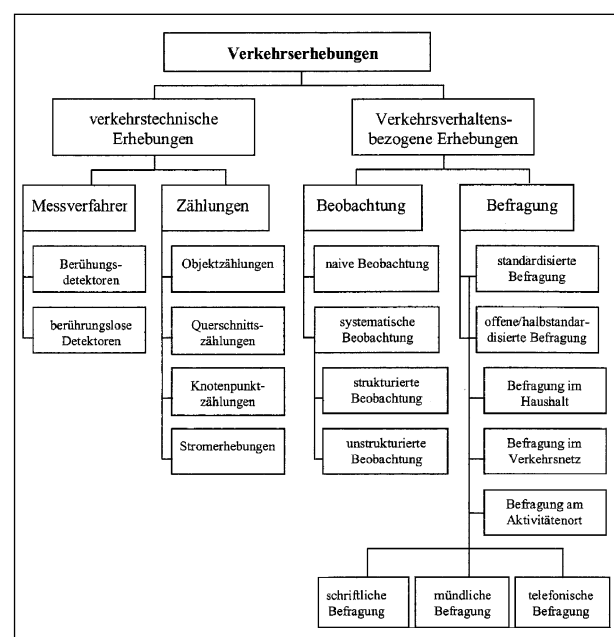


Bild 17: Methoden für Verkehrserhebungen (abgeleitet aus FGSV, 1991)

sen aus der Literatur, aber auch praktischen Erfahrungen werden im Folgenden die Vor- und Nachteile relevanter Erhebungsmethoden zur Bestimmung des Befolgungsgrades von Alternativroutenempfehlungen unter Berücksichtigung einzelner Einflussfaktoren sowie deren Wechselwirkungen auf das Fahrerverhalten erläutert. Dabei wird der Begriff „Methode“ für eine generelle Art einer Untersuchung verwendet und der Begriff „Verfahren“ für die Art der Umsetzung/Anwendung der Methode.

Grundsätze bei der Auswahl der Erhebungsmethode

Der Erfolg einer Untersuchung ist eng mit den eingesetzten Erhebungsmethoden verknüpft. Von ihnen hängen die Qualität sowie die Menge gültiger Daten ab. Abhängig von den für eine Untersuchung zur Verfügung stehenden Ressourcen (Zeit, Finanzen, Personal etc.) können durch sorgfältige Auswahl der geeigneten Erhebungsmethode sowohl die Anzahl der Ausfälle als auch die Wahrscheinlichkeit von systematisch verzerrenden oder ungenauen Angaben günstig beeinflusst werden.

Daher ist es nötig, die Erhebungsmethode auf die jeweilige Fragestellung abzustimmen, wobei das Entscheidungskriterium die Frage ist, ob die Methode die größtmögliche Anzahl zuverlässiger und valider Daten liefert. Bei der Konzeption einer Erhebung ist daher primär darauf zu achten, inhaltliche Verzerrungen durch die Erhebungsmethode zu vermeiden. Erst in zweiter Instanz ist das geeignete Verfahren zur Stichprobenziehung auszuwählen.

Zeitlicher Rahmen der Untersuchung

Eine wesentliche Entscheidung, die zu Beginn der Untersuchung zu treffen ist, ist die Frage, ob es sich bei der Datenerhebung um eine einmalige Querschnittsbeobachtung oder eine Längsschnittbeobachtung handelt. Die ideale Form der Langzeitbeobachtung ist die Paneluntersuchung. Eine Paneluntersuchung ist eine Stichprobenerhebung, die

- wiederholt in regelmäßigen Abständen
- mit der gleichen Teilauswahl (Stichproben-Panel)
- zum gleichen Untersuchungsgegenstand

vorgenommen wird.

Der besondere Nutzen solcher Erhebungen liegt darin, durch periodische Wiederholung von Einzel-

erhebungen Veränderungen, z. B. des Verkehrsverhaltens, im Zeitablauf sichtbar zu machen und damit auch Prognosegrundlagen zu erhalten (zur Konzeption und Realisierung einer Längsschnittbeobachtung siehe ZUMKELLER et al., 1998).

Der Hauptvorteil der Paneluntersuchung liegt darin, dass auf diese Weise sehr detaillierte Informationen zum Verkehrsverhalten gewonnen werden können. Eine einmalige Messung oder Befragung erlaubt lediglich die Beschreibung eines aktuellen Zustandes. Paneluntersuchungen erlauben die Wahrnehmung weitergehender Erkenntnisse, darunter die Identifikation von Einflussfaktoren bzw. allgemeinen Rahmenbedingungen, die zur Verhaltensänderung beigetragen haben (STOPHER, 1996). Des Weiteren können individuelle Verhaltensvariabilitäten und Verhaltensregelmäßigkeiten identifiziert werden.

Nachteile einer Panelerhebung sind v. a. in der Probandengewinnung zu sehen, da die Teilnehmer für mehrere Befragungen bereitstehen müssen. Zudem wird vermutet, dass eine Personengruppe, die eine hohe Bereitschaft für mehrmalige Interviews aufweist, spezifische Eigenschaften besitzt, die der Gesamtbevölkerung fehlen, und somit das Befragungsergebnis verzerrt wird. Selbst im Fall einer Zustimmung zu einer mehrmaligen Befragung ist es möglich, dass der Befragte nach einer ersten Befragung ermüdet und deshalb Auskünfte geringerer Qualität erteilt oder sich zur Folgebefragung nicht mehr bereit erklärt, sodass das Panel schrumpft. Weitere inhaltliche Verzerrungen können sich auch aus der Tatsache ergeben, dass wiederholte Befragungen die Einstellung der Person zum Untersuchungsgegenstand (in diesem Fall also das Verhalten in Entscheidungssituationen bei Alternativroutenempfehlungen) verändern. Aufgrund dieser Schwierigkeiten ist trotz der inhaltlichen Vorteile nur eine geringe Zahl aller Untersuchungen zum Verkehrsverhalten als Paneluntersuchungen angelegt (RICHARDSON et al., 1996). Eine erste ausführliche Darstellung der Vor- und Nachteile sowie eine Übersicht über realisierte Panelstudien zum Verkehrsverhalten finden sich z. B. bei AXHAUSEN (1993).

6.1 Beobachtung

Versuche, die es erlauben, das Verhalten einer ausreichend großen Stichprobe von Fahrern im realen Verkehrsumfeld zu beobachten, stellen eine genaue und repräsentative Methode zur Ermittlung

von Befolungsgraden verkehrsbeeinflussender Maßnahmen dar. Durch die Methode „Beobachtung“ können sichtbare Verhaltensweisen und äußere Merkmale in einem überschaubaren räumlichen und zeitlichen Bereich erfasst werden.

Ein wesentlicher Vorteil der Beobachtung ist, dass das tatsächliche Verkehrsverhalten der Teilnehmer bzgl. ihrer Routenwahl bzw. die Befolgung von Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen direkt erfasst wird. Im Gegensatz dazu wird bei zeitversetzt stattfindenden Befragungen nur das berichtete Verhalten aufgenommen, das aufgrund der notwendigen Erinnerungsleistung des Befragten i. d. R. Differenzen zum tatsächlichen Verhalten aufweist.

Der Nachteil von Beobachtungsmethoden besteht darin, dass diese zumeist mit einem sehr hohen Kostenaufwand verbunden sind und oft die Kooperation und Koordinierung einer Reihe verschiedener Institutionen erforderlich sind.

Für die exakte Analyse der Wirkung von Anzeigen auf Schildern im Verlauf einer Netzbeeinflussungsanlage müsste bei Anwendung von Beobachtungsverfahren sichergestellt werden, dass die Untersuchungsteilnehmer einen beeinflussten Querschnitt mehrfach passieren (sowohl im unbeeinflussten als auch im beeinflussten Zustand), sodass die Stärke des Einflusses der Schildanzeigen auf die Routenwahl über Mit-Ohne-Vergleiche ermittelt werden kann. Kann lediglich das Gesamtkollektiv in Bezug auf das Merkmal „Fahrzeug befährt Alternativroute“ bzw. „Fahrzeug befährt Normalroute“ beobachtet werden, so bleiben allerdings die Gründe für die Entscheidung unbekannt.

Die Beobachtungsmethode beschränkt sich meist auf die visuelle Wahrnehmung. Beobachtungsverfahren kommen v. a. dort zum Einsatz, wo Verkehrsverhalten ermittelt werden muss, aber nicht gestört werden kann, oder dort, wo das Verhalten räumlich überschaubar ist. Beobachtungsmethoden gewinnen seit einigen Jahren an Bedeutung, da durch die Leistungssteigerungen im Computerbereich auch aufwändigere Erkennungsmethoden realisierbar sind (z. B. die automatische Erfassung von Kfz-Kennzeichen).

Konventionelle Verfahren zur Beobachtung des Verkehrsverhaltens sind räumlich und zeitlich begrenzt. Zur Erweiterung des räumlichen und zeitlichen Erhebungsrahmens sind jedoch auch Beobachtungen durchführbar, die sich auf kontinuierlich erfasste Ortungsdaten – z. B. aus Mobilfunknetzen

oder GPS-Daten – stützen. Gegen den Einsatz von Ortungsverfahren sprechen jedoch Bestimmungen des Datenschutzes, die eine automatische Erfassung von Daten, die eindeutig auf Einzelfahrzeuge zurück verfolgbar sind, nicht gestatten. Das bedeutet, dass vor einer derartigen Erhebung Probanden rekrutiert und um ihr Einverständnis zur Datenerfassung gebeten werden müssten. Zur Probandengewinnung für mobilfunkgestützte Befragungen sowie für Untersuchungen mit interaktiven Simulationen finden sich Hinweise in Kapitel 6.1.1 und Kapitel 6.3.

6.1.1 Mobilfunkgestützte Beobachtung

Mobilfunkgestützte Erhebungsverfahren können als Kombination aus Beobachtung und Befragung betrachtet werden. Merkmale, die das Verkehrsverhalten beschreiben, werden teilweise automatisch, teilweise durch direkte Abfrage erfasst. Personenmerkmale als verhaltensklärende Merkmale können im Wesentlichen nur durch persönliche Befragung gewonnen werden.

Bei einer mobilfunkgestützten Erhebung führt der Erhebungsteilnehmer ein Mobiltelefon mit sich, das in eingeschaltetem Zustand ständig seine Positionsdaten an die nächstgelegenen Funkzellen-Basisstationen übermittelt. Hierbei werden Orts- und Zeitangaben automatisch erfasst. Die Übermittlung der Daten an die Zentrale kann z. B. per SMS (Short Message Service) geschehen. Erste Erfahrungen mit GSM-Erhebungen liegen in Deutschland (IVS, 2000; WERMUTH et al., 2001) und Japan (HATO, 1995) vor.

Unter Verwendung von Daten, die über Einzelortungen im GSM-Netz erfasst werden, können in ausreichender Genauigkeit auch tatsächlich gefahrene Routen bestimmt werden. Ein solches Verfahren wurde im FE-Projekt „Erhebung der individuellen Routenwahl zur Weiterentwicklung von Umlegungsmodellen“ (WERMUTH/SOMMER/WULFF, 2006) in einer empirischen Erhebung eingesetzt. U. a. wurden die in dieser Untersuchung berechneten Routen einem Vergleich mit geeigneten Referenzdaten (GPS-Daten) unterzogen. Die erzielten Ergebnisse erlaubten die Aussage, dass mit dem eingesetzten Verfahren Routen v. a. im übergeordneten Straßennetz mit ausreichender Genauigkeit bestimmt werden können.

Der hauptsächlich finanzielle Aufwand bei einer solchen Erhebung ist in der Kooperation mit Netzebe-

treibern (Einkauf von Ortungsdaten) zu erwarten. Wird das Verfahren in der Form eingesetzt, dass lediglich einzelne Ortungen bei Beginn (Quelle) und Ende (Ziel) einer Fahrt angefordert werden, können diese Kosten jedoch deutlich reduziert werden. Ist die komplette Route Erhebungsgegenstand, muss von hohen Kosten ausgegangen werden (je nach Abnahmemenge der Ortungsdaten zwischen 5 und 10 ct/Ortung, Stand April 2006). Im oben zitierten Forschungsprojekt wurden beispielsweise Ortungen im Abstand von zwei Minuten durchgeführt. Unter Annahme mittlerer Reisedauern je Fahrt können die zu erwartenden Kosten (nur für die Ortungsdaten) abgeschätzt werden. Weiterer bedeutender Aufwand ergibt sich durch notwendiges Software-Engineering und Probandengewinnung sowie Aufwand zur Einhaltung von Datenschutzrichtlinien. Bei der Anwendung zum Zweck der Ermittlung von Befolgungsgraden von Alternativroutenempfehlungen ist zu beachten, dass, auch wenn die gefahrene Route ermittelt werden kann, die Gründe und Einflüsse, die bei der Entscheidung über Befolgung oder Nicht-Befolgung eine Rolle gespielt haben, nicht ohne begleitende Befragungen ermittelt werden können.

Hinweise zur Probandengewinnung

In der oben zitierten Untersuchung (WERMUTH/SOMMER/WULFF, 2006) konnten Hinweise auf den zu erwartenden Aufwand zur Probandenrekrutierung bei mobilfunkgestützten Erhebungen gewonnen werden. Die dort festgestellte geringe Teilnahmebereitschaft war v. a. bedingt durch

- hohe Belastung der Probanden:
In diesem Beispiel war ein einwöchiger Untersuchungszeitraum mit zwei bis drei persönlichen Interviews von mindestens 30 Minuten vorgesehen;
- sehr hohe Anforderungen an die Einhaltung von Richtlinien des Datenschutzes:

In diesem Beispiel mussten die Teilnehmer eine Datenschutzerklärung ausfüllen und unterschreiben sowie eine eigene Telefonrechnung vorlegen, um nachzuweisen, dass die teilnehmende Person auch Inhaber des zu ortenden Gerätes ist.

Auch musste festgestellt werden, dass ein Teil der Probanden, die bereits ihre Teilnahme zugesagt

Mobilfunkgestützte Beobachtung		
Methode	Beobachtung von Einzelpersonen	
Verfahren	Mobilfunk-gestützte Erhebung von Ortungsdaten auf Funkzellenbasis und Routenermittlung mit speziellen Algorithmen	
Zeitliche Form	Beobachtung im Zeitlängsschnitt; Panelerhebung möglich	
Vor- und Nachteile	+ geringe Investitionskosten + geringer Personalaufwand + sinkende Kosten bei längerem Untersuchungszeitraum + geringer Aufwand zur Datencodierung	- Anfallende Kosten für Ortungsdaten - Hohe Anforderungen des Datenschutzes - Geringe Teilnahmebereitschaft
Probandenrekrutierung	Erforderlich; hoher Aufwand ist zu erwarten	
Aufwandspositionen	- Vertragsgestaltung mit Netzbetreibern (zeitlicher Aufwand) - Gebühren für die Ortungsdaten - Stichprobenauswahlverfahren (für seltene Populationen) - Probandenrekrutierung - Einhaltung von Richtlinien des Datenschutzes - Erstellung und Anwendung von Algorithmen des Map-Matchings - Datenaufbereitung - Datenverwaltung - Auswertung	hoch hoch hoch hoch hoch hoch mittel mittel gering
Erhebungsmerkmale	- Start- und Zielbezirk - Tatsächlich gefahrene Route - Zeitpunkte von Beginn und Ende, Dauer einer Fahrt - In Kombination mit persönl. Befragung: Motive der Routenwahl	
Eignung zur Ermittlung von Befolgungsgraden	Bedingt geeignet (-)	

Bild 18: Steckbrief „Mobilfunkgestützte Beobachtung“

hatten, sich kurz vor oder sogar erst bei Beginn der Untersuchung ohne Angabe von Gründen abmeldete. Die Teilnahmebereitschaft konnte auch durch unterstützende Maßnahmen (Verteilen von Flugblättern, Zeitungsaufruf, Angebot eines Incentives) nicht gesteigert werden.

Im Hinblick auf die Probandengewinnung für eine mobilfunkgestützte Untersuchung zu Befolgungsgraden einzelner Anlagen zur Wechselwegweisung muss Folgendes festgestellt werden:

Der Aufwand zur Probandengewinnung ist sehr hoch, die zu erwartende Teilnahmebereitschaft gering. Eine direkte Ansprache von Kfz-Nutzern, die sich im Untersuchungsraum aufhalten (dies kann nur durch Anhalten von Fahrzeugen im Verkehrssystem geschehen), ist kaum möglich. Eine Ansprache von Kfz-Nutzern z. B. in Betrieben mit einem hohen Anteil von Nutzern eines zu untersuchenden Netzabschnittes ist zwar möglich, führt jedoch zu einer Ergebnisverzerrung, da im Wesentlichen das Fahrersegment der Pendler (zumeist mit guter Ortskenntnis) betrachtet wird.

Insgesamt kann die Durchführung dieses Verfahrens zur Ermittlung von Befolgungsgraden unter Abwägung von Aufwand (Rekrutierung und Untersuchungsdurchführung) und Nutzen (verwertbare Aussagen nur für Teile der Grundgesamtheit) nur bedingt empfohlen werden.

6.1.2 Satellitengestützte Beobachtung

Satellitengestützte Erhebungsverfahren nutzen das Globale Positionierungs-System (GPS) zur Bestimmung von Orts- und Zeitangaben mittels eines GPS-Empfangsgerätes. Bei Nutzung eines kraftfahrzeugbasierten GPS-Receiver können weitere Fahrzeugkenndaten (Geschwindigkeit, Kraftstoffverbrauch etc.) erfasst werden. Zu diesem Zweck können auch im Fahrzeug bereits installierte Navigationssysteme verwendet werden. Die Daten werden während der Erhebungsphase im Gerät gespeichert. Nach Abschluss der Erhebung wird das Gerät entweder vom Teilnehmer zurückgeschickt oder bei ihm abgeholt. Anschließend werden die Daten ausgelesen. Das Verfahren eignet sich für

Satellitengestützte Beobachtung		
Methode	Beobachtung von Einzelfahrzeugen	
Verfahren	Satellitengestützte Erhebung von Ortungsdaten und Ermittlung gefahrener Routen	
Zeitliche Form	Zeitraumorientierte Untersuchung eines Panels	
Vor- und Nachteile	+ mittlere Investitionskosten + geringer Personalaufwand + sinkende Kosten bei längerem Untersuchungszeitraum + hohe Ergebnisgenauigkeit + geringer Aufwand zur Datencodierung	- hohe Anforderungen des Datenschutzes - Geringe Teilnahmebereitschaft aufgrund Dauerbelastung
Probandenrekrutierung	erforderlich; hoher Aufwand ist zu erwarten	
Aufwandspositionen	- Geräteausstattung - Stichprobenauswahlverfahren (für seltene Populationen) - Probandenrekrutierung - Einhaltung von Richtlinien des Datenschutzes - Datenaufbereitung - Datenverwaltung - Auswertung	hoch hoch hoch hoch mittel mittel mittel
Erhebungsmerkmale	- Start- und Zieladresse - Tatsächlich gefahrene Route (unter Verwendung von GIS-Systemen zur Datenanalyse) - Zeitpunkte von Beginn und Ende, Dauer einer Fahrt - gefahrene Geschwindigkeiten - In Kombination mit persönl. Befragung: Motive der Routenwahl	
Eignung zur Ermittlung von Befolgungsgraden	Eher ungeeignet (-)	

Bild 19: Steckbrief „Satellitengestützte Beobachtung“

Längsschnittbeobachtungen auch größerer Stichproben.

Wie bei der Routenerfassung mittels des auf GSM-Ortungsdaten basierenden Routenidentifikationsverfahrens können GPS-Routen nicht ohne Einverständnis des Verkehrsteilnehmers erhoben werden (Anforderungen an die Einhaltung von Datenschutzrichtlinien). Der Aufwand bei der Erfassung von GPS-Daten ergibt sich insbesondere durch die Notwendigkeit, die Ortungsergebnisse im Gerät des Untersuchungsteilnehmers zu speichern und den Speicher am Ende der Untersuchung auszulesen (Rückversand, Abholung). Die Genauigkeit der erfassten Routen ist bei diesem Verfahren sehr hoch.

Empirische Untersuchungen mit satellitengestützter Beobachtung wurden bisher hauptsächlich in den Vereinigten Staaten durchgeführt. Hier sind v. a. die Studien des Instituts GeoStats (www.geostats.com) zu nennen.

Häufig haben GPS-Erhebungen jedoch nicht das Ziel, individuelles Verkehrsverhalten zu erheben, sondern vielmehr die Erfassung von Daten, die z. B. die Bestimmung des Kraftstoffverbrauchs und der Fahrzeugemissionen erlauben. In Deutschland liegen Untersuchungen über die Genauigkeit von GPS-Empfängern zur Positions- und Geschwindigkeitsermittlung vor (LISTL, 2005).

Ähnlicher Aufwand wie bei der mobilfunkgestützten Erhebung hinsichtlich Probandenrekrutierung und Erhebungsaufwand sowie die zusätzliche Anforderung, die Probandengruppe mit Erfassungsgeräten auszustatten, führen bei Abwägung mit dem zu erwartenden Nutzen zur Bewertung: „Für die Ermittlung von Befolgungsgraden von Alternativroutenempfehlungen eher ungeeignet“.

6.1.3 Kennzeichenerfassung mittels Videotechnik

Für die Erfassung von Kennzeichen im fließenden Verkehr existieren zwei mögliche Verfahren:

- die Erfassung durch Sprachaufnahmegeräte,
- die Erfassung mittels Videotechnik.

Bei der Erfassung von Kennzeichen durch Sprachaufnahmegeräte an Autobahnen ist zu beachten, dass bei den dort vorhandenen hohen Geschwindigkeiten, eine Erfassung kompletter Kennzeichen nicht möglich ist. Eine reduzierte Erfassung von

Kennzeichen auf bestimmte Ziffern/Zeichen bewirkt jedoch einen systematischen Fehler. Außerdem bedarf dieses Verfahren eines hohen Personalaufwands, sodass es aus praktischer Sicht nicht zu empfehlen ist.

Bei der Erfassung von Kennzeichen mittels Videotechnik müssen grundsätzlich Bestimmungen des Datenschutzes berücksichtigt werden. Diese verbieten eine dauerhafte Speicherung von Kennzeichen. Für eine Erhebung von Befolgungsgraden sind daher geeignete Pläne zur temporären Speicherung von Daten aufzustellen, die dieser Restriktion Rechnung tragen, gleichzeitig aber eine Auswertung relevanter Daten erlauben. Denkbar (und technisch bereits umsetzbar) wäre hier z. B. die Erfassung eines Kennzeichens durch einen Detektor und dessen sofortige Verschlüsselung in Form eines Identifizierungs-Codes. Wird das gleiche Fahrzeug an anderer Stelle im Netz erneut detektiert, wird der gleiche Code vergeben. Auf diese Weise ist eine Zuordnung des Kennzeichens auf Personen nicht mehr möglich.

Durch geeignete Begrenzung des betreffenden Untersuchungsraumes und Erfassung von Kfz-Kennzeichen an den relevanten Messquerschnitten, sind eine Verfolgung von Einzelfahrzeugen über mehrere Querschnitte sowie die Auswertung hinsichtlich der Beeinflussbarkeit möglich. Auf diese Weise kann eine ausreichende Genauigkeit für die Ermittlung von Quelle-Ziel-Beziehungen in einem Untersuchungsraum erzielt werden.

6.2 Befragung

Befragungen sind dadurch gekennzeichnet, dass vom Interviewer oder vom Befragten selbst die zu erfassenden Angaben in einem Fragebogen notiert werden. Bei den Verfahren wird im Folgenden zwischen schriftlichen, persönlichen und telefonischen Befragungen unterschieden, wobei es für jedes der drei Verfahren eine Vielzahl von Beispielen aus der Praxis gibt.

Zur Erhebung individuellen Verkehrsverhaltens gewinnen computergestützte Erhebungsverfahren an Bedeutung, da sie zumeist kostengünstiger und zeiteffizienter sind als konventionelle Verfahren. Computergestützte Erhebungsmethoden werden unter dem Oberbegriff CADAC (Computer assisted data collection) zusammengefasst (FGSV, 2003). Die unterschiedlichen Techniken der computergestützten Befragung sind keine grundsätzlich neuen

Erhebungsmethoden, sondern stellen zumeist eine Weiterentwicklung und Optimierung konventioneller Befragungsformen dar. Eine Übersicht über mögliche Befragungsverfahren zeigt Bild 21.

möglichst, die untereinander und zu den Interviewern in großer Entfernung leben. Die Erhebungen sind so nicht auf ein enges Gebiet begrenzt und vergleichsweise kostengünstig.

6.2.1 Schriftliche Befragung

Die am häufigsten angewandte Erhebungstechnik ist die schriftliche Befragung. Es existieren unterschiedliche Formen der Kontaktaufnahme und Rücksendung (über persönliche Auslieferung oder Abholen der Fragebögen); kennzeichnendes Element dieses Befragungstypus ist es, dass der Befragte den Fragebogen allein ausfüllen muss.

Positiv auf die Antwortqualität wirkt sich bei dieser Methode aus, dass sich der Befragte den Zeitpunkt und den Ort für das Ausfüllen selbst aussuchen und sich beliebig viel Zeit für die Beantwortung der Fragen lassen kann. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass mit dieser Methode eine große geographische Streuung erzielt werden kann, da der postalische Versandweg auch die Befragung von Personen er-

Befragungsmethoden	
Konventionell (ohne Computereinsatz)	Computergestützt
Schriftlich	Computergestützt selbst-administriert (Computer-assisted self-interviewing – CASI) - Online (Nutzung von E-Mail oder Internet) - Offline (Nutzung von Mobilcomputern)
Persönlich	Computergestützt persönlich (Computer-assisted personal interviewing – CAPI)
Telefonisch	Computergestützt telefonisch (Computer-assisted telephone interviewing – CATI)

Bild 21: Befragungsmethoden (FGSV, 2003)

Erfassung von Kennzeichen mit Videotechnik		
Methode	Beobachtung eines Verkehrsstroms	
Verfahren	Automatische Erfassung von Kfz-Kennzeichen an mehreren Querschnitten	
Zeitliche Form	Beobachtung im Zeitlängsschnitt	
Vor- und Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> + Beauftragung externer Firmen für die Erhebungsdurchführung möglich (Umgehen von Investitionskosten) + Ermittlung von Quelle-Ziel-Beziehungen in einem abgegrenzten Untersuchungsraum durch Verfolgung einzelner Fahrzeuge möglich + geringer Personalaufwand + sinkende Kosten bei längerem Untersuchungszeitraum + hohe Erfassungsgenauigkeit in Bezug auf das Kennzeichen 	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Investitionskosten - hohe Anforderungen des Datenschutzes - keine Zuordnung von Kfz-Kennzeichen auf Kfz-Nutzer möglich - Ermittlung von Motiven der Routenwahl unmöglich
Probandenrekrutierung	nicht erforderlich	
Aufwandspositionen	<ul style="list-style-type: none"> - Erfassungstechnik (Kameras) - Gebühren für die Datenübertragung - Auswertung - Installation - Betrieb der Erfassungsgeräte 	<ul style="list-style-type: none"> hoch gering mittel gering gering
Erhebungsmerkmale	<ul style="list-style-type: none"> - Ein- und Ausfahrtquerschnitt bez. auf den Beobachtungsraum - Zielbezirk (über Zuordnung des Zulassungsortes auf das Ziel) - Zeitpunkte von Einfahrt und Ausfahrt bez. auf den Beobachtungsraum - Mittlere gefahrene Geschwindigkeiten zwischen Ein- und Ausfahrt 	
Eignung zur Ermittlung von Befolgungsgraden	Geeignet (+)	

Bild 20: Steckbrief „Kennzeichenerfassung mittels Videotechnik“

Eine persönliche Anwesenheit eines Interviewers verringert Missverständnisse, führt aber andererseits zu der Gefahr, die Antworten des Befragten zu beeinflussen. Häufig werden in diesem Fall Antworten gegeben, von denen der Befragte annimmt, sie seien gesellschaftlich oder bei dem Interviewer besonders akzeptiert. Ebenso verringert sich die Qualität der Daten dadurch, dass Personen mit hoher Bildung häufiger schriftliche Fragebögen beantworten als andere, was zu einer systematischen Verzerrung führen kann. Auch ist nicht immer eindeutig festzustellen, ob die Person, die den Fragebogen ausfüllen sollte, diesen tatsächlich auch selbst ausgefüllt hat. Darüber hinaus können bei bestimmten Fragestellungen spontane Antworten wünschenswert sein. Diese sind in schriftlichen Befragungen eher unwahrscheinlich. Schwerwiegend ist auch die geringe Antwortquote schriftlicher Befragungen, wenn man diese ohne vorherige Ankündigungen sowie Erinnerungen nach Verstreichen eines Antwortzeitraums durchführt.

Schriftliche Fragebögen sollen also nur dann eingesetzt werden, wenn durch ein klares Layout und einfache Fragestellungen Missverständnisse gering gehalten werden können (RICHARDSON et al., 1996).

Befolgungsgrade von Alternativroutenempfehlungen können auch durch Befragungen ermittelt werden. Eine Fragebogenerhebung ist dabei ein denkbare Verfahren zur Anwendung dieser Methode. Vor dessen Anwendung für den Zweck der Ermittlung von Befolgungsgraden müssen allerdings folgende Fragen geklärt werden:

1. Inhaltliche Gestaltung des Fragebogens

Sinnvoll wäre eine Kartendarstellung, anhand derer der Befragte seine gewählte Route einzeichnet. Es muss abgefragt werden, welche Randbedingungen während der Fahrt im Bereich der Wechselwegweisungsanlage vorlagen bzw. welche der Befragte wahrgenommen hat. Außerdem sind Gründe für die getroffene Entscheidung zu erfragen.

2. Welches Verfahren wird zur Stichprobenauswahl eingesetzt?

Hier ist die einfache Stichprobenauswahl am sinnvollsten. Es ist darauf zu achten, dass zur Ermittlung von Gründen, die bei der Routenwahl eine Rolle gespielt haben, sowohl auf der Haupt- als auch auf der Alternativroute ausreichend große Stichproben gezogen werden müssen.

3. Wie werden die Fragebögen verteilt, sodass eine möglichst repräsentative Stichprobe des Gesamtkollektivs, das den beeinflussten Querschnitt passiert, berücksichtigt wird?

Eine Verteilung der Fragebögen kann zum einen durch Anhalten von zufällig ausgewählten Fahrzeugen aus dem Verkehrsstrom auf der Haupt- und der Alternativroute erfolgen. Eine sinnvolle Methode, die den Eingriff in den Verkehrsablauf vermeidet, ist jedoch die Verteilung von Fragebögen an Kfz-Nutzer, die sich in der Nähe der Verkehrsbeeinflussungsanlage auf Parkplätzen und Rastanlagen aufhalten.

Ein generelles Problem bei schriftlichen Befragungen ist jedoch der Personen-Non-Response. An Befragungen, die die Rücksendung eines Fragebogens erfordern, beteiligen sich erfahrungsgemäß mehrheitlich Fahrer nicht, die eine geringe Affinität zur Fragestellung haben. Im Falle einer Befragung zur Ermittlung von Befolgungsgraden von Alternativroutenempfehlungen ist zu vermuten, dass dies solche Fahrer sind, die einer solchen Empfehlung nie oder nur selten folgen. Daher muss davon ausgegangen werden, dass Fragebogenerhebungen, die mit gängigen Verteilungsmethoden durchgeführt werden, auf Grund der Stichprobenschwankungen die Befolgungsgrade von Alternativroutenempfehlungen tendenziell überschätzen. Eine Variante, die die Non-Response-Effekte minimieren könnte, wäre in diesem Zusammenhang nur die mündliche Befragung von zufällig ausgewählten Fahrern im Verkehrssystem bzw. auf Parkplätzen und Rastanlagen im Bereich der Verkehrsbeeinflussungsanlage.

Eine schriftliche Befragung mittels Fragebogen wird unter Abwägung von Aufwand und Nutzen als „eher ungeeignet“ bewertet. Nicht die Kosten, sondern vielmehr Schwierigkeiten bei der Verteilung der Fragebögen an eine geeignete Personenstichprobe, starke zu erwartende Verzerrungseffekte durch Personen-Non-Response sowie die Erfordernis, eine komplexe Fragestellung für einen Befragten in einem Fragebogen verständlich zu machen, sprechen gegen den Einsatz dieses Verfahrens. Die Möglichkeit der Verteilung von Fragebögen auf Park- und Rastplätzen birgt die Gefahr, im Wesentlichen Reisende des Fernverkehrs zu erreichen. Für die Gruppe der Pendler ist eine Nutzung dieser Einrichtungen eher unwahrscheinlich. Der zu erwartende Nutzen ist aufgrund des Charakters einer Stichtagsbefragung eher gering. Dies liegt v. a.

Schriftliche Befragung			
Methode	Befragung		
Verfahren	Schriftliche, standardisierte Einzelbefragung mittels Fragebogen		
Zeitliche Form	Zeitpunktorientierte, einmalige Befragung		
Vor- und Nachteile	<table border="0"> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> + Geringe Investitionskosten + Geringer technischer Aufwand + Hohe Erfassungsgenauigkeit bei Fahrtzweck, Rahmenbedingungen, Präferenzen + Panelerhebung möglich </td> <td style="vertical-align: top; padding-left: 20px;"> <ul style="list-style-type: none"> - Hoher Datenaufbereitungsaufwand - Geringe Erfassungsgenauigkeit bei Raum-Zeit-Angabe - Lange Untersuchungsdauer - Schwierige Stichprobenauswahl - Verzerrungen durch Personen-Non-Response ist zu erwarten </td> </tr> </table>	<ul style="list-style-type: none"> + Geringe Investitionskosten + Geringer technischer Aufwand + Hohe Erfassungsgenauigkeit bei Fahrtzweck, Rahmenbedingungen, Präferenzen + Panelerhebung möglich 	<ul style="list-style-type: none"> - Hoher Datenaufbereitungsaufwand - Geringe Erfassungsgenauigkeit bei Raum-Zeit-Angabe - Lange Untersuchungsdauer - Schwierige Stichprobenauswahl - Verzerrungen durch Personen-Non-Response ist zu erwarten
<ul style="list-style-type: none"> + Geringe Investitionskosten + Geringer technischer Aufwand + Hohe Erfassungsgenauigkeit bei Fahrtzweck, Rahmenbedingungen, Präferenzen + Panelerhebung möglich 	<ul style="list-style-type: none"> - Hoher Datenaufbereitungsaufwand - Geringe Erfassungsgenauigkeit bei Raum-Zeit-Angabe - Lange Untersuchungsdauer - Schwierige Stichprobenauswahl - Verzerrungen durch Personen-Non-Response ist zu erwarten 		
Probandenrekrutierung	erforderlich; eine zufällige Auswahl von Verkehrsteilnehmern, die die zufällige Zusammensetzung des Verkehrskollektivs abbildet, ist schwierig		
Aufwandspositionen	<table border="0"> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> - Erstellung des Fragebogens - Stichprobenauswahlverfahren - Verteilung des Fragebogens - Dateneingabe - Datenaufbereitung </td> <td style="vertical-align: top; padding-left: 20px;"> <ul style="list-style-type: none"> hoch hoch hoch hoch hoch </td> </tr> </table>	<ul style="list-style-type: none"> - Erstellung des Fragebogens - Stichprobenauswahlverfahren - Verteilung des Fragebogens - Dateneingabe - Datenaufbereitung 	<ul style="list-style-type: none"> hoch hoch hoch hoch hoch
<ul style="list-style-type: none"> - Erstellung des Fragebogens - Stichprobenauswahlverfahren - Verteilung des Fragebogens - Dateneingabe - Datenaufbereitung 	<ul style="list-style-type: none"> hoch hoch hoch hoch hoch 		
Erhebungsmerkmale	<ul style="list-style-type: none"> - Quelle und Ziel - Zeitpunkte von Fahrtbeginn und -ende - Fahrtzweck - Route - Motive der Routenwahl 		
Eignung zur Ermittlung von Befolungsgraden	Eher ungeeignet (-)		

Bild 22: Steckbrief „Schriftliche Befragung“

daran, dass Schwankungen der Befolungsgrade, die in Schaltungszuständen ermittelt wurden, die sich hinsichtlich ihrer zeitlichen Lage unterscheiden, nicht ausreichend sicher begründet werden können.

6.2.2 Persönliche Befragung im Verkehrssystem

Durch Befragung von Verkehrsteilnehmern im Verkehrssystem lassen sich genaue Aussagen über die Fahrten hinsichtlich Quelle und Ziel, Fahrtzweck, gewählte Fahrtroute usw. erzielen. Eine Erhebung in dieser Form ist jedoch meistens mit erheblichen Kosten und Störungen des Verkehrsablaufs verbunden und erfordert daher eine sorgfältige Vorbereitung (Absperrung, Polizeiunterstützung usw.). Wenn übermäßig lange Wartezeiten der zu befragenden Verkehrsteilnehmer vermieden werden sollen, sind Personal- und Kostenaufwand solcher Befragungen sehr hoch. Die einer Befragung anschließende Auswertung ist mit weiteren Kosten für die Datencodierung verbunden und erfordert zusätzliche Plausibilitätskontrollen aufgrund möglicher unvollständiger oder falscher Angaben, Fehlinterpretationen oder Übertragungsfehlern.

Vorteile einer Befragung im Verkehrssystem sind vor allem.

- die hohe Genauigkeit der erfassten Angaben,
- die Möglichkeit, einen Situationsbezug herzustellen, d. h., örtliche, zeitliche und verkehrliche Gegebenheiten können bei der Beantwortung mit erfasst werden,
- die geringe Anzahl von Antwortverweigerungen,
- die direkte Datenverfügbarkeit nach der Befragung.

Generelles Problem einer Befragung im Verkehrssystem ist, dass zunächst eine repräsentative Stichprobe aus dem betroffenen Fahrerkollektiv gewonnen werden muss. Kapitel 6.2.1 enthält hierzu bereits wichtige Informationen, außerdem sind in Kapitel 6.4.2 Hinweise zur Ermittlung des notwendigen Stichprobenumfanges gegeben. Enthält die Befragung Fragen zu potenziellem Verhalten, müssen sich die gestellten Fragen auf bekannte, realitätsnahe Szenarien beziehen, die allen Befragten geläufig sind. Dies stellt erhöhte Anforderungen an die Konzeption der Erhebung und deren Durchführung.

Persönliche Befragung im Verkehrssystem		
Methode	Befragung	
Verfahren	Mündliche standardisierte Einzelbefragung	
Zeitliche Form	Zeitpunktorientierte, einmalige Befragung	
Vor- und Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> + Hohe Erfassungsgenauigkeit + Möglichkeit zur Berücksichtigung von Situationsmerkmalen + Geringe Verzerrungen durch Personen-Non-Response + Sofortiges Nachfragen möglich + Direkte Datenverfügbarkeit 	<ul style="list-style-type: none"> - Hohe Kosten je befragter Person - Nur Stichtagsbefragung möglich - Hoher notwendiger Stichprobenumfang - Hoher Datenaufbereitungsaufwand - Eingriff in den Verkehrsablauf erforderlich
Probandenrekrutierung	erforderlich; Anhalten von zufällig ausgewählten Fahrzeugen	
Aufwandspositionen	<ul style="list-style-type: none"> - Untersuchungsvorbereitung (Fragebogen, Stichprobenplanung etc.) - Polizeieinsatz, Personal - Datencodierung (entfällt weitgehend bei computergestützter Befragung) - Datenaufbereitung - Auswertung 	<ul style="list-style-type: none"> hoch hoch hoch hoch mittel
Erhebungsmerkmale	<ul style="list-style-type: none"> - Quelle und Ziel - Zeitpunkte von Fahrtbeginn und -ende - Fahrtzweck - Route - Motive der Routenwahl 	
Eignung zur Ermittlung von Befolungsgraden	bedingt geeignet (o)	

Bild 23: Steckbrief „Persönliche Befragung im Verkehrssystem“

Vor allem der Aufwand zur Durchführung einer Befragung im Verkehrssystem spricht gegen die Anwendung dieses Verfahrens (Einrichtung von Befragungsstellen, Einsatz von Polizeikräften zur Auswahl von Fahrzeugen⁴, Beschilderungsmaßnahmen, Befragungspersonal). Neben dem Personalbedarf wirkt sich auch der hohe notwendige Stichprobenumfang (vgl. Kapitel 6.4.2) erschwerend aus. Der Nutzen ist jedoch relativ hoch (v. a. aufgrund der Möglichkeit, entscheidungsrelevante Einflussfaktoren zu erfragen), sodass das Gesamturteil „bedingt geeignet“ lautet.

6.2.3 Telefonische Befragungen

Telefonische Befragungen reduzieren im Regelfall gegenüber der schriftlichen Methode die Anzahl der Missverständnisse, da beide Seiten die Möglichkeit haben, Verständnisfragen zu klären. Wenn die Interviews aus einer Telefonzentrale durchgeführt werden, bleibt darüber hinaus der Vorteil der hohen Reichweite der Interviews bestehen, ohne dass für die An- und Abreise der Interviewer Zeit und Geld investiert werden müssen. Zusätzlich können in diesem Fall die Interviewer auch besser kontrolliert

werden sowie auftretende Probleme sehr schnell erkannt und für alle anderen Interviews berücksichtigt werden.

Durch Telefonbefragungen entstehen Verzerrungen, die dadurch bedingt sind, dass nicht alle Personen telefonisch erreichbar sind. So ist ein kleiner, aber regional unterschiedlicher Anteil von Menschen gänzlich ohne Telefonanschluss, ein weiterer Teil nicht in Telefonbüchern verzeichnet und somit nicht in der Grundgesamtheit vertreten und eine dritte Gruppe wird telefonisch nicht erreicht. Zukünftig sind auch der Ersatz von Festnetzanschlüssen durch Mobilfunkanschlüsse und der damit fehlende Eintrag in Telefonverzeichnisse als Reduktionsfaktor für die Grundgesamtheit zu vermuten. Problematisch bei Telefonbefragungen ist

⁴ In der Bundesrepublik ist es ausschließlich Polizeikräften gestattet, Fahrzeuge im Verkehrssystem anzuhalten. Bei Befragungen im Verkehrssystem haben Polizeikräfte jedoch nur diese spezielle Aufgabe. Die Befragungen am Fahrzeug werden durch Personal der beauftragten Institution durchgeführt. Ein Einfluss der Gegenwart von Polizeikräften kann daher weitestgehend ausgeschlossen werden.

vor allem, dass die Mitglieder dieser Gruppen andere soziodemografische Merkmale oder Verkehrsverhalten aufweisen können als die Gesamtbevölkerung und somit die Befragungsergebnisse verzerrt sein können.

Außerdem ist es am Telefon schwierig, komplexe Sachverhalte zu erfragen, die einer langen Erklärung bedürfen, ohne den Interviewten zu langweilen oder zu verärgern. In persönlichen Gesprächen lassen sich solche Situationen teilweise durch visuelle Hilfsmittel entschärfen. Darüber hinaus ist anzunehmen, dass die Anzahl der Personen, die ein Interview verweigern, bei Telefoninterviews höher ist als bei einem persönlichen Interview. Insbesondere bei längeren Telefonaten ist die Hemmschwelle, das Interview abzubrechen, gering. Ebenso wie bei persönlichen Interviews ist bei dieser Erhebungstechnik deshalb besonders Wert auf eine gute Interviewerschulung zu legen.

Die telefonische Befragung von Personen zur Befolgung bzw. Nichtbefolgung einer Alternativroutenempfehlung ist jedoch nicht durchführbar, da nicht bekannt ist, wer in einem beeinflussten Zeitraum im Beobachtungsraum unterwegs war. Denkbar wäre lediglich, die telefonische Befragung als Screening-Verfahren einzusetzen, um generelle Präferenzen von Verkehrsteilnehmern in Bezug auf Netzbeeinflussungsmaßnahmen zu ermitteln. Wie diese Ergebnisse jedoch in die Wirkungsprognose einer geplanten Anlage eingehen, ist fraglich, da wiederum nicht bekannt ist, wie sich das zukünftige Verkehrskollektiv hinsichtlich der erhobenen Präferenzstruktur zusammensetzt.

Ein Steckbrief für das Verfahren der telefonischen Befragung, wird hier aufgrund der geringen Bedeutung für die Ermittlung von Befolgungsgraden von Alternativroutenempfehlungen nicht erstellt.

6.2.4 Mobilitäts- oder Fahrtentagebücher

Bei allen bisher vorgestellten Erhebungstechniken kann es zu Differenzen zwischen tatsächlichem und berichtetem Verkehrsverhalten der befragten Personen kommen. Diese sind v. a. auf den verstrichenen Zeitraum zwischen realisiertem (Verkehrs-)Verhalten und dem Zeitpunkt der Interviews zurückzuführen. Hierbei spielen die oft fehlende Erinnerung an einzelne Wege sowie das Vergessen von Teilwegen innerhalb von Wegeketten eine Rolle.

Eine Möglichkeit, diese Probleme zu umgehen, ist die Erhebung realisierten Verkehrsverhaltens mit

Hilfe von Tagebüchern (Mobilitäts- oder Fahrtentagebücher). Dabei handelt es sich um einen Fragebogen, in den – je nach Art der Befragung – jede realisierte Fahrt bzw. ausgeführte Aktivität eingetragen wird, zu denen jeweils eine kleine Anzahl immer gleicher Fragen (z. B. zu Gründen realisierten Verhaltens) beantwortet wird. Empfehlenswert ist hierbei eine telefonische oder persönliche Einweisung des Untersuchungsteilnehmers in den Gebrauch des Tagebuchs. Die Dokumentation der Wege und Aktivitäten erfolgt im Untersuchungszeitraum selbstständig. Der zeitliche Abstand zwischen Aktivitäten bzw. Wegen und Ausfüllen des Fragebogens wird auf diese Weise reduziert, da der Befragte spätestens am selben Tag oder sogar unmittelbar nach einer Aktivität (sofern er das Tagebuch mit sich führt) die Fragen beantwortet.

Zur Tagebuchbefragung gehört zwingend eine Erhebung der soziodemografischen Merkmale zur Charakterisierung der befragten Person. Ein besonderer Vorteil von Tagebuchehebungen ist die höhere Datenzuverlässigkeit im Vergleich zu rückblickenden Befragungen. Die Mehrzahl der bisher jedoch sehr selten durchgeführten Tagebuch-Befragungen wird zumeist mit Wege-orientierten Mobilitätstagebüchern durchgeführt, d. h., dokumentiert werden möglichst alle zurückgelegten Wege. Außerdem gibt es die Form des Aktivitäten-orientierten Tagebuches (vornehmlich in den USA eingesetzt). Ein Tagebuch liefert einen Datensatz, der einen mehrtägigen Befragungszeitraum abdeckt. Ein solcher ist Voraussetzung für die Verringerung des Anteils der unbekannteren Verhaltensvariabilität und der Integration komplexer Merkmalsbeschreibungen des Verhaltens. Nur mit Befragungen über einen längeren Zeitraum können Variationen der Einflussgrößen (z. B. schlechtes Wetter) ausgeglichen und Aussagen darüber getroffen werden, wie oft und wie regelmäßig eine Person bestimmte Wege durchführt bzw. bestimmte Verhaltensweisen zeigt.

Eine weitere Unterteilung kann anhand der Dauer der Berichterstattung in den Tagebüchern gemacht werden. Befragungen über sieben oder 14 Tage werden mittlerweile als realistisch angesehen. Die Anzahl an mehrwöchigen Befragungen dieser Art ist jedoch sehr gering. Die Seltenheit, mit der Befragungen dieser Art durchgeführt werden, ergibt sich aus der hohen Belastung für die befragten Personen.

Eine große Schwierigkeit bei Erhebungen im Zeitlängsschnitt besteht darin, eine ausreichend große

Fahrtentagebuch		
Methode	Befragung	
Verfahren	Schriftliche, standardisierte Einzelbefragung	
Zeitliche Form	Befragung im Zeittlängsschnitt	
Vor- und Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> + Vorteile wie bei schriftlicher Befragung + Hohe Flexibilität bei der inhaltlichen Gestaltung + Einsatz computergestützter Verfahren möglich 	<ul style="list-style-type: none"> - Nachteile wie bei schriftlicher Befragung - Stichprobenauswahl schwierig - abnehmende Genauigkeit mit zunehmender Untersuchungsdauer - bei computergestützter Erhebung: Ausstattung von Probanden mit Erfassungsgeräten erforderlich
Probandenrekrutierung	erforderlich; hoher Aufwand ist zu erwarten	
Aufwandspositionen	<ul style="list-style-type: none"> - wie bei schriftlicher Befragung - bei computergestützter Erhebung: Investition in Erfassungsgeräte 	
Erhebungsgegenstände	<ul style="list-style-type: none"> - Quelle und Ziel - Zeitpunkte von Fahrtbeginn und -ende - Fahrtzweck - Route - Motive der Routenwahl 	
Eignung zur Ermittlung von Befolungsgraden	bedingt geeignet (o)	

Bild 24: Steckbrief „Fahrtentagebuch“

Anzahl von Befragungsteilnehmern zu gewinnen, die auch noch zusätzliche Auswahlkriterien erfüllen mussten – so sollten die Befragten in einer Untersuchung zur Ermittlung von Befolungsgraden innerhalb des Untersuchungszeitraums keine längeren Abwesenheiten eingeplant haben, bestimmte Häufigkeiten im Bezug auf das Befahren eines bestimmten Streckenabschnittes haben sowie einer Quote bezüglich der Quelle-Ziel-Beziehung am Gesamtkollektiv entsprechen.

Im Vergleich zur schriftlichen Stichtagsbefragung ergibt sich durch die Möglichkeit der Beobachtung eines längeren Zeitraums ein erhöhter Nutzen für die Erklärbarkeit von Schwankungen ermittelter Befolungsgrade. Diese Schwankungen sind bei Betrachtung von Schaltungszuständen, die sich in ihrer zeitlichen Lage unterscheiden, zu erwarten.

6.3 Methodenmix

Ergänzend zu den vorangegangenen Einzeldarstellungen denkbarer Erhebungsverfahren soll an dieser Stelle kurz auf den Nutzen und die Möglichkeiten eingegangen werden, die sich aus der Mischung verschiedener Verfahren ergeben.

So stellt sich die Frage, ob ein Methodenmix, z. B. aus persönlicher Befragung und einer Untersuchung mittels Fahrtentagebuch, einen deutlichen Erkenntnisgewinn bei der Ermittlung von Befolungsgraden an Netzbeeinflussungsanlagen gegenüber der alleinigen Anwendung einer Methode liefern würde.

Nach Abwägung der in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Aufwands- und Nutzenkomponenten der einzelnen Verfahren resultiert der Schluss, dass ein Mix der oben beschriebenen Verfahren nicht empfehlenswert ist. Es muss festgestellt werden, dass eine kombinierte Vorab-Befragung, z. B. schriftlich und persönlich und/oder telefonisch, keinen Erkenntnisgewinn für die Klärung der Frage nach der Befolgung an spezifischen Netzbeeinflussungsanlagen liefert. Um Hinweise auf die generelle Grundhaltung gegenüber der Beachtung und Befolgung von Alternativroutenempfehlungen zu erhalten, wären derartige Befragungen zwar geeignet, es ist jedoch zu beachten, dass es sich bei den Antworten um theoretisch zu erwartendes Verhalten handelt, welches in der Realität deutlich abweichen kann. Die Verlässlichkeit und die weitere Verwendbarkeit der Ergebnisse sind eingeschränkt.

Eine denkbare Kombination von Erhebungsverfahren zur Ermittlung von Befolungsgraden an bestehenden Netzbeeinflussungsanlagen wäre die Anwendung von Verfahren zur Routenermittlung auf Basis von Ortungsdaten aus Mobilfunknetzen und zusätzlichen persönlichen Befragungen. Hierzu bedarf es allerdings – neben einem handhabbaren Algorithmus zur Routenidentifikation – einer Erhebung mindestens auf Länderebene, da es nicht möglich ist, eine Probandengruppe zu gewinnen, die für eine bestimmte Netzbeeinflussungsanlage repräsentative Ergebnisse liefert. In der Probandengruppe müssten dann über einen langen Zeitraum (mehrere Monate) die tatsächlich gefahrenen Routen automatisch bestimmt werden (sehr hohe Kosten für Ortungsdaten). Damit wäre feststellbar, wenn ein Proband eine Netzbeeinflussungsanlage passiert. In diesem Fall würde der Proband telefonisch oder persönlich kontaktiert, um die Grundlagen seiner Entscheidung zur Wahl der Route zu erfragen.

Da Aufwand und Kosten einer solchen Erhebung sehr hoch sind, kann ein derartiges Vorgehen jedoch nicht empfohlen werden. Eine deutlich besser geeignete Methode stellt die im Kapitel 7 beschriebene hypothetische Befragung dar. Diese Methode bietet den Vorteil, Präferenzstrukturen durch systematische Variation von Entscheidungssituationen so weit wie möglich auszuloten, ohne dass Probanden mit Bezug zur untersuchten Beeinflussungsanlage zur Verfügung stehen müssen.

6.4 Stichprobenauswahl und Stichprobenumfänge

Nach der Auswahl des geeigneten Erhebungsverfahrens erfolgt – unabhängig von der Art der zu untersuchenden Netzbeeinflussungsanlage (additiv, substitutiv, dWiSta) – die Festlegung der Art und des Umfangs der Stichprobe, die benötigt wird, um belastbare Ergebnisse sicherzustellen. Hierzu sind einschlägige statistische Verfahren anzuwenden. Dabei ist zu beachten, dass die Stichprobe umso größer gewählt werden muss, je größer die Genauigkeit der Ergebnisse geplant ist.

6.4.1 Auswahlverfahren

Vor der Ziehung der Stichprobe ist zu klären, über welche Menge von Personen oder Sachverhalten Aussagen gemacht werden sollen. Man spricht hier von der Präzisierung des Objektbereiches oder ein-

facher von der Definition der Grundgesamtheit einer Untersuchung. Aussagen einer Untersuchung gelten immer nur für die Objekte der Grundgesamtheit.

Bezogen auf das vorliegende Problem der Ermittlung von Befolungsgraden von Alternativroutenempfehlungen wird die Grundgesamtheit definiert durch die Menge der Verkehrsteilnehmer, die einen durch eine Verkehrsbeeinflussungsanlage gesteuerten Autobahnabschnitt zum Zeitpunkt der Schaltung einer Alternativroutenempfehlung passiert.

Da Vollerhebungen in einem Verkehrskollektiv ausscheiden, kann nur eine Teilmenge dieser definierten Grundgesamtheit (Stichprobe) untersucht werden. Zur Auswahl von Zufallsstichproben existieren verschiedene Verfahren. Diese sind in einschlägiger Literatur (z. B. BORTZ, 1995) detailliert beschrieben. An dieser Stelle werden daher nur die wichtigsten aufgezählt:

- einfache Zufallsauswahl,
- geschichtete Zufallsauswahl,
- Auswahl einer Klumpenstichprobe,
- mehrstufige Auswahlverfahren.

Außerdem finden sich in der Literatur weitere Auswahlverfahren, die meistens als willkürliche oder bewusste Auswahl bezeichnet werden. Es ist jedoch zu beachten, dass nur Zufallsstichproben die Berechenbarkeit von Fehlern, die beim Schluss von Stichproben auf die Grundgesamtheit entstehen, ermöglichen.

Als Zielgebiet, in dem die Stichprobenauswahl erfolgt, wird der durch eine Verkehrsbeeinflussungsanlage gesteuerte Autobahnabschnitt definiert. Alle zuvor genannten Verfahren zur Auswahl von Zufallsstichproben können grundsätzlich auch bei Zielgebietserhebungen angewandt werden. Für die Ermittlung von Befolungsgraden von Empfehlungen der Netzbeeinflussungsanlagen wäre – unabhängig von der Art der Anlage (additiv, substitutiv, dWista) – eine Stichprobenziehung in einer nach den relevanten Merkmalen (vgl. Kapitel 5.2) geschichteten Grundgesamtheit notwendig. Diese Art der Zufallsauswahl ist in einem Zielgebiet obiger Definition jedoch nicht sinnvoll durchführbar, da die Grundgesamtheit, d. h. alle Fahrzeuge, die sich innerhalb eines beeinflussten Zeitraums im Zielgebiet aufhalten, nicht bekannt ist und es sich um eine bewegte Masse handelt, die sich nur für kurze Zeit und zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Befra-

gungs- bzw. Untersuchungsraum aufhält. Die Ermittlung von Adressen aus üblichen Quellen (Einwohnerdateien, Adressbücher usw.) scheidet aus. Die einzige Möglichkeit zur Auswahl einer Zufallsstichprobe ist daher eine einfache Zufallsauswahl durch Anhalten zufällig ausgewählter Fahrzeuge und Befragung der Fahrer im Fahrzeug (zum Verfahren vgl. Kapitel 6.2.2). Bei diesem Verfahren besteht wiederum die Gefahr, dass bestimmte relevante Merkmale der Erhebungseinheiten (Fahrer) in der resultierenden Stichprobe ungleichgewichtig verteilt sind und so die Übertragbarkeit der Ergebnisse eingeschränkt wird.

6.4.2 Notwendiger Stichprobenumfang

Bei Stichprobenerhebungen treten Zufallsfehler auf, deren Größen insbesondere vom Umfang der Stichprobe abhängen. Der Stichprobenumfang ist daher so festzulegen, dass der damit zu erzielende Zufallsfehler eine zuvor festgelegte Grenze nicht überschreitet. Es ist zu beachten, dass bei stark streuenden Merkmalsausprägungen in der Grundgesamtheit dementsprechend größere Stichproben gezogen werden müssen (der Zufallsfehler nimmt mit der Wurzel aus der Stichprobengröße ab).

Nicht immer kann der notwendige Stichprobenumfang zufrieden stellend bestimmt werden. Häufig gibt es nicht genügend Informationen, um den günstigsten Stichprobenumfang zu bestimmen. Anhand eines Beispiels sollen hier jedoch die Schritte veranschaulicht werden, die dennoch zur Lösung des Problems führen. Die angeführten Formeln sind COCHRAN (1972) entnommen.

Beispiel zur Bestimmung des notwendigen Stichprobenumfangs

Eine Menge von 1.500 Fahrzeugen passiert einen Querschnitt, der eine Stunde lang beeinflusst wird, d. h., eine Alternativroutenempfehlung wird an einem Schild angezeigt. Es soll der Anteil an Fahrern in diesem Kollektiv geschätzt werden, der die alternative Route aufgrund der ausgeschilderten Empfehlung wählt.

Angenommen, eine einfache Stichprobenziehung aus dem Kollektiv sei möglich, stellt sich die Frage, wie groß der notwendige Stichprobenumfang sein muss, um den Anteil der Fahrer zu schätzen, die die Empfehlung befolgen.

Dieser Frage geht eine andere Frage voraus, nämlich die Frage nach der gewünschten Genauigkeit

des Ergebnisses. Hier wird nun angenommen, dass der geschätzte Anteil einen Fehler von höchstens $\pm 3\%$ aufweisen soll, d. h., dass bei einer Schätzung von 30% für den Anteil der Befolger der wahre Anteil am Gesamtkollektiv zwischen 27% und 33% liegt.

Unter der Annahme, dass der Anteil p der Befolger in der Stichprobe normalverteilt ist, kann ein für die Praxis ausreichend genauer Wert für den notwendigen Stichprobenumfang bestimmt werden, nämlich durch Lösen der Gleichung

$$2 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot (1-P)}{n}} = 3 \quad \Rightarrow \quad n = \frac{4 \cdot P \cdot (1-P)}{9}$$

mit

n = notwendiger Stichprobenumfang (gesucht)

P = geschätzter Anteil von Elementen mit der gesuchten Eigenschaft in der Grundgesamtheit

Vor der Berechnung von n muss jedoch noch die unbekannte Größe P geschätzt werden. Geht man ganz allgemein von einer Schätzung des Befolger-Anteils von 15% bis 25% aus, kann mit diesen Informationen eine brauchbare Antwort gegeben werden: Für jeden Wert von P zwischen 15% und 25% liegt das Produkt $P(1-P)$ zwischen 1.275 und 1.875 . Das entsprechende n liegt zwischen 567 und 833 . Um auf der sicheren Seite zu bleiben, nimmt man als erste Schätzung des Stichprobenumfangs $n = 833$ Elemente.

Die getroffenen Annahmen, die bei der Bestimmung des Stichprobenumfangs gestellt wurden, können nun überprüft werden. Ist $n = 833$ und liegt P zwischen 15% und 25% , dann sollte p annähernd normalverteilt sein. Eventuell ist eine Endlichkeitskorrektur notwendig. Dieses hängt von der Größe der Grundgesamtheit ab. Ist die Grundgesamtheit (hier also die Menge der im Schaltungszeitraum passierenden Fahrzeuge) größer als 16.660 , dann ist der Auswahlsatz kleiner als 5% . Eine Endlichkeitskorrektur wäre nicht notwendig. Da hier die Grundgesamtheit jedoch nur 1.500 Fahrzeuge umfasst, muss der notwendige Stichprobenumfang nachgebessert werden, und zwar anhand der Formel

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0 - 1}{N}} = \frac{833}{1 + \frac{832}{1500}} = 536$$

mit

N = Umfang der Grundgesamtheit

Mit einem Stichprobenumfang von $n = 536$ würde demnach die gestellte Genauigkeitsanforderung erfüllt werden. Bei Reduzierung dieser Anforderung auf einen Fehler von $\pm 5\%$ wäre ein Stichprobenumfang von $n = 251$ notwendig.

Die Vorstellung, in einer Stunde 250 von 1.500 Fahrzeugen anzuhalten und die Fahrer danach zu fragen, ob sie die am Schild angezeigte Empfehlung befolgt haben, ist natürlich konstruiert. Auf diese Weise wird jedoch deutlich, dass für genaue Aussagen zum einen relativ große Stichproben erforderlich sind, zum anderen aber auch, dass großer Wert darauf gelegt werden muss, welches Merkmal erhoben werden soll und ob eine Schätzung für die Häufigkeit/Verteilung dieses Merkmals in der Grundgesamtheit vorliegt. Je ungenauer eine solche Schätzung ist (große Varianzen in der Grundgesamtheit), desto größer ist der notwendige Stichprobenumfang.

7 Methoden zur Erhebung potenziellen Verhaltens

Für das Ziel der Bestimmung von Befolungsgraden bei Alternativroutenempfehlungen im Rahmen der Planung (also vor der Inbetriebnahme einer Anlage) ist keine Methode bekannt, mit der ein voraussichtlich zu betrachtendes Verkehrskollektiv abgegrenzt werden kann. Ex-ante-Untersuchungen, die sich auf einzelne Anlagen beziehen, sind deshalb nur mit Methoden möglich, bei denen potenzielles Verhalten erhoben wird.

Befragungsmethoden zur Erhebung von Daten zu nicht vorhandenen oder hypothetischen Sachverhalten – ein solcher wäre z. B. die Planung einer Netzbeeinflussungsanlage – werden unter dem Begriff „Methoden der Stated Response“ zusammengefasst. Diese Verfahren ermöglichen die Untersuchung des Einflusses theoretisch beliebig vieler Varianten einer Beeinflussungsmaßnahme bzw. verschiedener Maßnahmenkombinationen auf das Fahrerverhalten unter vollkommen kontrollierten Versuchsbedingungen. Hierzu wird der Befragte mit einer Reihe von Entscheidungssituationen konfrontiert, deren Parameter systematisch variiert werden, sodass seine Präferenzstruktur so weit wie möglich ausgelotet werden kann (FGSV, 1996). Die Entscheidungen geben so Auskunft über die Vorlieben und Präferenzen einer Person,

die nicht durch direkte Beobachtungen erfasst werden können⁵.

Die Stated-Response-Analyse ist die einzige Möglichkeit, Korrelationen zwischen fahrerspezifischen Merkmalen und Routenwahlverhalten einerseits und zwischen relevanten Einflussfaktoren und Wegewahl andererseits herzustellen. Sie ist jedoch kein Instrument, um vorher nicht vermutete Zusammenhänge zu finden. Sie dient der Schätzung a priori angenommener Zusammenhänge oder Parameter, kann damit vermutete Zusammenhänge ausschließen, aber keine neuen finden.

Aufgrund der Komplexität einer solchen Untersuchung werden die Untersuchungsteilnehmer zu meist persönlich betreut. Die eigentliche Befragung kann aber auch nach einer Unterweisung selbstständig erfolgen. Bei Erhebungen mittels Interviews können Daten teilweise direkt in den Computer eingegeben und im weiteren Verlauf der Befragung verwendet werden. Dieses Prinzip kann für eine Vielzahl sehr unterschiedlicher Fragestellungen und Befragungsmethoden bezüglich zukünftigen Verhaltens angewandt werden.

Als Nachteil von Methoden der Stated Response wird im Allgemeinen angeführt, dass die erzielten Daten unzuverlässig seien. Dies liegt vor allem in der hypothetischen Natur der Untersuchung. Zwischen potenziell gewünschtem oder erwartetem Verhalten und dem tatsächlichen Verhalten können bei jedem Befragten erhebliche Abweichungen auftreten. Dem Problem, dass die für eine Entscheidung persönlichen oder situativen Rahmenbedingungen nicht im gleichen Maß wie in der Realität einfließen können, kann entgegengewirkt werden, indem ein Bezug zu einer im Vorfeld real durchgeführten Fahrt hergestellt wird. Aufgrund des zeitlichen Versatzes zwischen Handlung und Befragung setzt hier jedoch das menschliche Erinnerungsvermögen der Machbarkeit Grenzen.

Darüber hinaus können mit Stated Response nur diejenigen Einflussfaktoren systematisch getestet werden, deren Bedeutung im Voraus durch theoretische Überlegungen oder auch in empirischen Vorstudien nachgewiesen wurden. Ferner wird sich

⁵ Zu Methoden der Stated Response existiert umfangreiche wissenschaftliche Literatur. Einen guten und vergleichsweise leicht verständlichen Überblick geben die „Hinweise zur Messung von Präferenzstrukturen mit Methoden der Stated Preferences“ (FGSV, 1996).

Stated Response			
Methode	Befragung		
Verfahren	Standardisierte Einzelbefragung: Unterschiedliche Erhebungsformen sind möglich (schriftlich, computergestützt, mündlich)		
Vor- und Nachteile	<table border="0"> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> + Angabe statistischer Zuverlässigkeit möglich + Erhöhung der Validität durch Kombination erhobener Daten mit Ergebnissen aus Befragungen möglich + Effekte einzelner Einflussfaktoren unabhängig voneinander messbar + Wechselwirkungen zwischen Einflussfaktoren messbar + Möglichkeit zur Auswahl eines spezifischen Untersuchungsdesigns + Reduktion des notwendigen Stichprobenumfangs durch Vorliegen mehrerer Beobachtungen je Befragtem + Relativ schnelle Verfügbarkeit von Daten + Weitgehende Vermeidung von Interview-Effekten durch Verwendung standardisierter Fragebögen </td> <td style="vertical-align: top; padding-left: 20px;"> <ul style="list-style-type: none"> - Relevante Einflussfaktoren müssen im Voraus ermittelt und angemessene Hypothesen über Wechselwirkungen formuliert werden - Validität der Aussagen fraglich, da hypothetische Verhaltensweisen analysiert werden - Spezielle methodischer Erfahrungen bei der Erstellung des Versuchsplans erforderlich - Spezielle methodischer Erfahrungen bei der Gestaltung der Befragung erforderlich - Spezielle statistische Verfahren bei der Datenauswertung erforderlich </td> </tr> </table>	<ul style="list-style-type: none"> + Angabe statistischer Zuverlässigkeit möglich + Erhöhung der Validität durch Kombination erhobener Daten mit Ergebnissen aus Befragungen möglich + Effekte einzelner Einflussfaktoren unabhängig voneinander messbar + Wechselwirkungen zwischen Einflussfaktoren messbar + Möglichkeit zur Auswahl eines spezifischen Untersuchungsdesigns + Reduktion des notwendigen Stichprobenumfangs durch Vorliegen mehrerer Beobachtungen je Befragtem + Relativ schnelle Verfügbarkeit von Daten + Weitgehende Vermeidung von Interview-Effekten durch Verwendung standardisierter Fragebögen 	<ul style="list-style-type: none"> - Relevante Einflussfaktoren müssen im Voraus ermittelt und angemessene Hypothesen über Wechselwirkungen formuliert werden - Validität der Aussagen fraglich, da hypothetische Verhaltensweisen analysiert werden - Spezielle methodischer Erfahrungen bei der Erstellung des Versuchsplans erforderlich - Spezielle methodischer Erfahrungen bei der Gestaltung der Befragung erforderlich - Spezielle statistische Verfahren bei der Datenauswertung erforderlich
<ul style="list-style-type: none"> + Angabe statistischer Zuverlässigkeit möglich + Erhöhung der Validität durch Kombination erhobener Daten mit Ergebnissen aus Befragungen möglich + Effekte einzelner Einflussfaktoren unabhängig voneinander messbar + Wechselwirkungen zwischen Einflussfaktoren messbar + Möglichkeit zur Auswahl eines spezifischen Untersuchungsdesigns + Reduktion des notwendigen Stichprobenumfangs durch Vorliegen mehrerer Beobachtungen je Befragtem + Relativ schnelle Verfügbarkeit von Daten + Weitgehende Vermeidung von Interview-Effekten durch Verwendung standardisierter Fragebögen 	<ul style="list-style-type: none"> - Relevante Einflussfaktoren müssen im Voraus ermittelt und angemessene Hypothesen über Wechselwirkungen formuliert werden - Validität der Aussagen fraglich, da hypothetische Verhaltensweisen analysiert werden - Spezielle methodischer Erfahrungen bei der Erstellung des Versuchsplans erforderlich - Spezielle methodischer Erfahrungen bei der Gestaltung der Befragung erforderlich - Spezielle statistische Verfahren bei der Datenauswertung erforderlich 		
Probandenrekrutierung	erforderlich; Aufwand wird jedoch als verträglich eingeschätzt		
Aufwandspositionen	<ul style="list-style-type: none"> - Entwurf und Gestaltung des Fragebogens - Vortest und Befragung - Umfang der Datenanalyse 		
Erhebungsmerkmale	<ul style="list-style-type: none"> - Einflussfaktoren - Präferenzen/Motive der Routenwahl 		
Eignung zur Ermittlung von Befolgungsgraden	Geeignet (+)		

Bild 25: Steckbrief „Methoden der Stated Response“

das erwartete von dem tatsächlich realisierten Verhalten dadurch unterscheiden, dass der Befragte in der Realität oft nicht über die Vielzahl an Informationen verfügt, die der Untersuchungsrahmen liefert.

Der Einfluss von Verkehrsinformationen auf das Routenwahlverhalten wurde bisher fast ausschließlich für einzelne Systeme untersucht (Wechselwegweisung, Verkehrsfunk, Navigationssysteme). Mögliche Wechselwirkungen und Überlagerungseffekte bei gleichzeitigem Vorhandensein von mindestens zwei Systemen (z. B. Navigationssystem und Wechselwegweisung) wurden aufgrund der Komplexität der erforderlichen Untersuchungsmethoden nicht berücksichtigt. Zwar lassen Einzelsystembewertungen Aussagen über die Akzeptanz eines Systems zu, die Annahme des isolierten Einflusses dieses Systems steht jedoch im Widerspruch zur Realität des multivariaten Entscheidungskontexts des Routenwahlverhaltens. Dieser kann jedoch angemessen berücksichtigt werden, wenn Befragungen zu hypothetischen Sachverhalten (unter Variation der Randbedingungen) eingesetzt werden.

Aufwand einer Erhebung potenziellen Verhaltens

Eine allgemeine Aufwandsabschätzung für Stated-Response-Untersuchungen ist schwierig, da jede einzelne Untersuchung anders strukturiert ist und die Komplexität einer Untersuchung stark schwanken kann. Besonderer Aufwand ist bei den folgenden Untersuchungskomponenten zu erwarten:

1. Entwurf und Gestaltung des Fragebogens (Aufwand ist abhängig von der Komplexität der Fragestellung),
2. Vortest und Befragung (Aufwand ist abhängig vom gewählten Erhebungsverfahren),
3. Komplexität und Umfang der Datenanalyse (Aufwand ist abhängig von der Definition der Problemstellung und Zielrichtung).

Aus den vorangegangenen Beschreibungen lassen sich nunmehr die folgenden, bei der Erstellung eines Untersuchungskonzeptes mit Methoden der Stated Response zu beachtenden Gesichtspunkte ableiten:

1. Es bedarf einer Beschreibung der objektiven Situation durch strukturelles, soziodemografisches sowie normatives Umfeld,
2. eine Überforderung des Probanden ist durch Begrenzung der Anzahl der Entscheidungssituationen bzw. Wahlmöglichkeiten zu vermeiden,
3. die hypothetische Wahlentscheidung ist in eine dem Befragten bekannte Situation einzubetten,
4. die befragten Personen sind in die neue Situation einzuweisen (Lernphase als Befragungsteil),
5. sinnvollerweise wird ein zweistufiges Vorgehen gewählt: Vorausgehend wird eine Verhaltenshebung zur Exploration der wesentlichen Einflussfaktoren in einer größeren Stichprobe durchgeführt (z. B. mittels Telefon-Screening, schriftliche Befragung o. Ä.), anschließend die Befragung mit Methoden der Stated Response mit Probanden einer zufällig ausgewählten Untersuchungsgruppe.

7.1 Durchführung hypothetischer Befragungen mit Hilfe interaktiver Simulation

Der Einsatz von Simulatoren bietet die Möglichkeit, das Fahrerverhalten unter dem kombinierten Einfluss unterschiedlicher Medien und Wahrnehmungsfelder unter gut kontrollierbaren Versuchsbedingungen mit relativ geringem zeitlichem Aufwand zu testen. Fahrsimulatoren bieten zusätzlich die Möglichkeit, physische Aspekte des Fahrens unter

Einfluss von Informationssystemen und somit die Gewährleistung der Sicherheit zu untersuchen. Zur realitätsnahen Abbildung des Straßenumfeldes sowie der verschiedenen Verkehrszustände ist im Vorfeld allerdings ein hoher Aufwand zur Kalibrierung des Simulators erforderlich.

Entsprechende Simulatoren sind z. B. an der Universität von Leeds (computer-basierter Fahrsimulator VLADIMIR (BONSALL et al., 1996)) an der Technischen Universität Delft (Travel Simulator Laboratory TSL, vgl. Bild 26) sowie bei der Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen (fahrzeugorientiertes, mikroskopisches Verkehrsfluss-simulationsprogramm PELOPS, im Internet: www.pelops.de) im Einsatz.

Hinweise zur Probandengewinnung

BOGERS und HOOGENDOORN (2004) berichten über die Rekrutierung von Probanden für eine empirische Studie, in der eine interaktive computer-gestützte Simulation mit Methoden der Stated Response durchgeführt wurde: „Die Anzahl der Entscheidungen, die ein Proband zu treffen hatte, betrug 25 (d. h., es wird simuliert, dass ein Fahrer die gleiche Relation an 25 Tagen befährt). Sicher wären im Sinne der statistischen Auswertungsmöglichkeiten mehr Entscheidungen wünschenswert gewesen; eine Vorstudie zeigte jedoch, dass es sehr schwer ist, Probanden für ein sehr langes Experiment zu rekrutieren. Darüber hinaus war festzustellen, dass viele der Probanden ihre Teilnahme nach etwa 20 Entscheidungen abbrechen.“

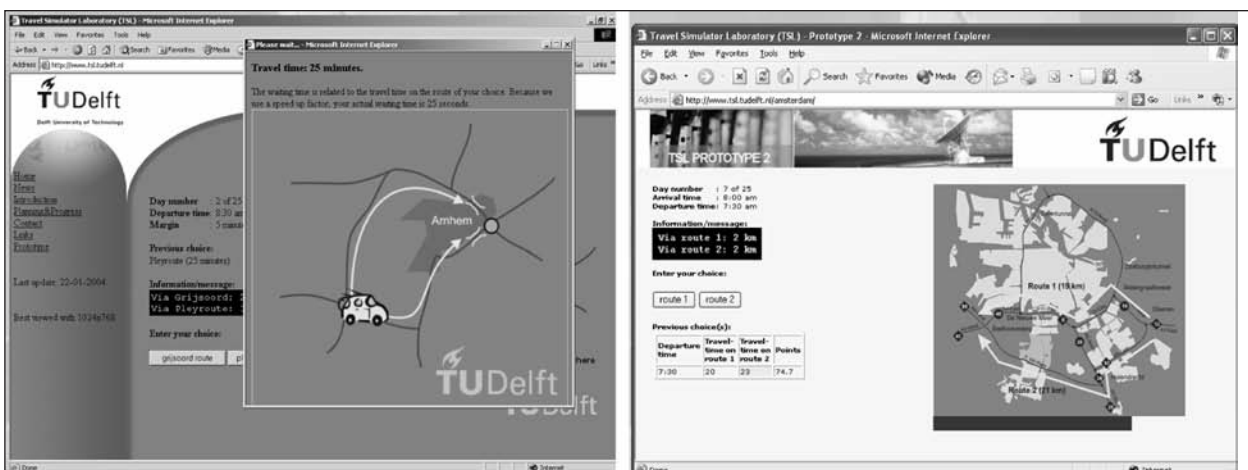


Bild 26: Ausschnitte aus der computer-basierten Simulation TSL (TU Delft, NL) zur Erhebung der Kriterien zur Routenwahl (im Internet: <http://www.tsl.tudelft.nl/>)

7.2 Beispiele für Erhebungen mittels Methoden der Stated Response

Seit einiger Zeit wird das Verhalten von Verkehrsteilnehmern in Bezug auf die Entscheidungsfindung bezüglich der Routenwahl infolge besserer Möglichkeiten zur Information über das vorhandene Verkehrsangebot erforscht.

Aufgrund der Komplexität des Untersuchungsgegenstandes handelt es sich bei den durchgeführten Projekten zumeist um Grundlagenstudien, die das Ziel haben, geeignete Verfahren zur Ermittlung von Wirkungen von Einflüssen, die aus einer verbesserten Informationslage resultieren, zu erproben.

BMW ASSIST – Empirische Untersuchung des Routenwahlverhaltens

Eine von BOGENBERGER et al. (2006) durchgeführte empirische Untersuchung hatte das Ziel, das individuelle Routenwahlverhalten eines Fahrers in Abhängigkeit von Verkehrsinformationen zu untersuchen, die über einen individuellen Verkehrsinformationsdienst empfangen werden.

Dazu wurde eine Befragung mit Methoden der Stated Response durchgeführt. Hierzu wurde ein mikroskopisches Verkehrsflusssimulationsprogramm („PELOPS“) eingesetzt.

Dieses wurde von der Forschungsgesellschaft für Kraftfahrwesen Aachen in Zusammenarbeit mit der BMW AG entwickelt. Es modelliert ein Fahrzeug als Bestandteil eines Gesamtsystems aus Mensch, Umwelt und Verkehr mit all seinen Wechselwirkungen.

Anhand zweier Szenarien, die sich hinsichtlich der verfügbaren Informationen aus verschiedenen Quellen unterschieden, wurden die Akzeptanz und Nutzung von Navigationssystemen und Verkehrsinformationsdiensten untersucht. Die Befragung lief internetgestützt ab, d. h., die befragten Personen hatten über eine Internetadresse Zugriff auf die simulierten Fahrszenen und die Befragung. Unter Betrachtung einer Fahrszene wurde eine Entscheidung zur Routenwahl getroffen. Anschließend mussten die befragten Personen Fragen zu Gründen der Entscheidung beantworten.

Als positiver Aspekt der in dieser Untersuchung eingesetzten Simulation wird angesehen, dass die dargestellten Fahrszenen einer realen Situation entsprachen und die bei den Befragten real vor-

handene Fahrzeugausstattung vor der Untersuchung erhoben wurde, um mit diesen Informationen die Simulation durchzuführen. D. h., ein Fahrer, dessen eigenes Fahrzeug nicht mit einem Navigationssystem ausgestattet ist, bekam dem entsprechend auch keine derartige Information im Verlauf der Simulation.

Die Befragungsteilnehmer waren ausschließlich Mitarbeiter der BMW AG mit unterschiedlichen fachlichen Hintergründen. Die Befragung ist daher nicht repräsentativ, sondern hat vielmehr einen explorativen Charakter.

OVID – Stärkung der SelbstOrganisationsfähigkeit im Verkehr durch I+K-gestützte Dienste

OVID (2005) ist ein FE-Projekt des BMB+F, bearbeitet durch das Institut für Verkehrswesen der TH Karlsruhe, im Internet: <http://www.ifv.uni-karlsruhe.de/Ovid.html>.

Das Ziel des Projektes ist die Untersuchung und Bewertung von Auswirkungen zukünftiger Informations- und Kommunikationsdienste auf das Verkehrssystem mit Hilfe einer Simulationsplattform.

In diesem Zusammenhang werden Verhaltensreaktionen unter Einfluss zukünftiger, qualitativ hochwertiger Informationsdienste in einer empirischen Studie untersucht. Methodische Grundlage ist ein Stated-Preferences-Ansatz, der zur besseren Veranschaulichung der hypothetischen Entscheidungssituationen in ein computer-basiertes Spiel integriert wird. In diesem Spiel soll ein Proband an einem normalen Werktag wiederholt Fahrten von Karlsruhe nach Mannheim und zurück durchführen. Während einer Reise (Hin- und Rückfahrt) steht dem Probanden ein Geldbudget zur Verfügung, mit dem er Benzin, Bahnfahrkarte, Verkehrsinformationen und ggf. Streckennutzungsgebühren bezahlen kann. Am Ziel angekommen, werden Reisezeit und (Un-)Pünktlichkeit in Geldeinheiten umgerechnet und mit dem Kontostand verrechnet. Ziel ist es, bei Reisen die Abzüge vom Geldbudget möglichst klein zu halten, indem eine möglichst kurze Reisezeit bei pünktlicher Ankunft erzielt wird.

Die gewonnenen Daten gehen in ein mikroskopisches Modell ein, das die Reaktionen der Verkehrsteilnehmer abbildet. Das Modell kommt in einer Simulation des Verkehrssystems für den Untersuchungsraum zwischen Karlsruhe und Mannheim in verschiedenen Zukunftsszenarien zur Anwendung. Schließlich soll das Ergebnis der Simula-

tion, d. h. die sich einstellenden Verkehrssystemzustände, der Bewertung von Informations- und Kommunikationsdiensten unter den Gesichtspunkten der Effizienz und Robustheit dienen.

Folgende Aspekte sprechen gegen eine Übertragbarkeit des Verfahrens auf die Ermittlung von Befolgungsgraden von Alternativroutenempfehlungen:

- Die Untersuchung bezieht sich lediglich auf die Ermittlung des Nutzens individueller Informationsdienste.
- Bei der gewählten Vorgehensweise wird „Nutzen“ durch den Parameter „Kosten“ repräsentiert. Andere Nutzenkomponenten werden nicht berücksichtigt.
- Die verkehrlichen Wirkungen werden nur aufgrund der so ermittelten Daten abgeschätzt.
- Die Anlage der Untersuchung als Spiel birgt die Gefahr der Falschangaben und damit der eingeschränkten Verwendbarkeit zur Prognose von Wirkungen neuer Informationsmedien.

SURVIVE – Simulationsgestützte Untersuchung der individuellen Reaktion auf Verkehrsinformationen mit variierenden Entscheidungsgrundlagen

SURVIVE (2005) ist ein FE-Projekt des BMB+F, bearbeitet durch das Institut Physik von Transport und Verkehr der Uni Duisburg (Prof. SCHRECKENBERG) und dem Laboratorium für Experimentelle Wirtschaftsforschung der Universität Bonn (Prof. SELTEN).

Ziel des Projekts war, das Verhalten von Verkehrsteilnehmern als Theorie zu entwickeln, die sich experimentell aus unterschiedlichen Motivationen, Typisierungen und Lernprozessen von Personen in Bezug auf Verkehrsinformationen und Routenwahl ergibt.

An einem typischen Experiment nahmen Versuchspersonen teil, die voneinander getrennt an Computerterminals saßen. Sie hatten die Aufgabe, einen von zwei Wegen für eine Fahrt von A nach B auszuwählen. Es gab eine Hauptstrecke und eine Nebenstrecke. Die Entscheidungssituation wurde durch die Ausgabe von Verkehrsinformationen in unterschiedlicher Art und Menge beeinflusst. Wie viel Zeit für die Fahrt benötigt wird, hing von der Anzahl derjenigen ab, die den betreffenden Weg wählten. Je höher diese Anzahl war, desto größer war

auch die benötigte Zeit. Bei gleicher Belastung war die Hauptstrecke schneller.

Die Versuchspersonen erhielten Geldauszahlungen, die umso höher waren, je weniger Zeit sie für ihre Fahrt benötigten. Das Experiment erstreckte sich über 200 Runden (= Tage). Nach jeder Runde erfuhr jeder Spieler nur seine Fahrtzeit auf der von ihm gewählten Strecke, jedoch nicht den Zusammenhang zwischen Belastung und Fahrtzeit.

PEETA/RAMOS (2006) – Untersuchung zu Reaktionen von Kfz-Fahrern auf Verkehrsinformationen an Wechseltextanzeigen

In dieser Studie wurde individuelles Verhalten von Kfz-Fahrern in Bezug auf Verkehrsinformationen, die über Wechseltextanzeigen übermittelt werden, untersucht. Sie basiert auf Erhebungen mittels Stated-Response-Methoden. Die Datengewinnung erfolgte auf drei unterschiedlichen Wegen:

- Befragungen auf Autobahn-Rastanlagen (248 durchgeführte Befragungen),
- E-Mail-Befragungen (402 Antworten) sowie
- Internet-basierten Befragungen (34 vollständig bearbeitete Befragungen).

Durch diesen Multi-Methoden-Ansatz war es möglich, alle für eine repräsentative Stichprobe relevanten Nutzergruppen (Pendler-, Durchgangs- und regionaler Wirtschaftsverkehr) zu berücksichtigen.

Neben der Untersuchung der Frage nach der Effektivität unterschiedlicher Methoden zur Erhebungsdurchführung, lieferte die Studie Erkenntnisse über den Einflussfaktor „Anzeigeinhalt“ auf die Entscheidung zur Routenwahl. Um den Effekt verschiedener Anzeigeinhalte auf das Verhalten zu ermitteln, wurde ein binäres Logit-Modell entwickelt. Die Parameter des Modells wurden unter Verwendung der Maximum-Likelihood-Methode aus den ermittelten Stated-Response-Daten geschätzt.

Die Studie zeigte, dass es einen inhärenten Widerstand bei Kfz-Fahrern gibt, eine Normalroute zu verlassen. Durch die Menge und die Art der gegebenen Informationen kann dieser Widerstand jedoch herabgesetzt werden. Der Befolgungsgrad wächst mit der Anzahl der angebotenen Informationen, insbesondere, wenn die erwartete Verlängerung der Reisezeit bei Verbleib auf der Normalroute und die Empfehlung einer alternativen Route angezeigt werden.

Erkenntnisse in Bezug auf die Untersuchung der Frage nach der Befolgung von Alternativroutenempfehlungen

Die zuvor kurz dargestellten Untersuchungen haben gemein, dass sie auf Methoden der Stated Response basieren. Dies zeigt, dass dieser Ansatz für die Ermittlung von Befolgungsgraden von Alternativroutenempfehlungen sowie auch zur Ermittlung der Effekte einzelner Einflussfaktoren geeignet ist.

Entgegen der Vorgehensweise der genannten Studien OVID und SURVIVE wird es für die Abschätzung des Befolgungsgrades von Alternativroutenempfehlungen jedoch als nicht sinnvoll erachtet, Entscheidungen durch Anreize, wie z. B. virtuelle Geldbeträge, zu beeinflussen. Auf diese Weise wird versucht, den tatsächlichen individuellen Nutzen einer Information zu bewerten, was aber in diesem Fall nicht Gegenstand der Untersuchung ist. Andere individuelle Präferenzen werden auf diese Weise aus der Betrachtung ausgeschlossen.

7.3 Stichprobenumfang einer Erhebung potenziellen Verhaltens

Für den Umfang der Stichprobe einer hypothetischen Befragung gibt es keine festen Mindestanforderungen. Hierzu gibt AXHAUSEN jedoch folgendes an (FGSV, 1996):

Nach der Formulierung der zu untersuchenden Hypothese muss festgelegt werden, an wen sich die Untersuchung richtet und welche Rahmenbedingungen vorgegeben werden sollen (Festlegung der Zielgruppe).

Bei der Festlegung der Zielgruppen ist ein Kompromiss zu finden zwischen der Beschreibungsgenauigkeit und den damit verbundenen Kosten, da für jede Zielgruppe idealerweise eine eigene Stichprobe benötigt wird. (Die Kosten wachsen progressiv mit der Beschreibungsgenauigkeit, da die Schwierigkeiten, ein Mitglied einer detailliert beschriebenen Gruppe zu finden, mit der Anzahl der berücksichtigten Einflussfaktoren zunehmen.)

Für den notwendigen Stichprobenumfang wird in der Praxis von einer Mindestgruppengröße je Zielgruppe von 50 Personen und einem wünschenswerten Umfang von 70 bis 90 Personen ausgegangen. Je nach Umfang des Versuchsplans (Anzahl der Frageblöcke je Entscheidungssituation) sollte

diese Anzahl erhöht werden. Dabei sollte von mindestens 10 Personen (wünschenswert sind 15 Personen) je Fragenblock ausgegangen werden. Die Verwendung dieser Faustregeln sollte durch eine genauere Berechnung des notwendigen Stichprobenumfangs ersetzt werden, falls Informationen über die anzutreffenden Varianzen in der Grundgesamtheit vorliegen. Zur Schätzung der Varianz gibt es vier Möglichkeiten (COCHRAN, 1972):

1. Ziehung einer Stichprobe in zwei Schritten. Zunächst wird eine Stichprobe vom Umfang n_1 gezogen, um die Werte für die Varianz und damit den notwendigen Stichprobenumfang n zu bestimmen.
2. Durchführung einer Vorerhebung und Verwendung der darin ermittelten Ergebnisse.
3. Die Ergebnisse früherer Stichprobenziehungen aus derselben oder einer ähnlichen Grundgesamtheit werden verwendet.
4. Aufstellen von Hypothesen über die Verhältnisse in der Grundgesamtheit.

Beispiel

Die Hypothese lautet: „Die Anzeigehalte einer NBA haben unterschiedliche Effekte auf das Befolgungsverhalten von Kfz-Fahrern.“ Andere situative und verkehrliche Einflüsse bleiben hierbei unberücksichtigt.

Zunächst werden die Zielgruppen definiert:

- Durchgangsverkehr – Probanden ohne Bezug zur untersuchten Beeinflussungssituation.
- Überregionaler Wirtschaftsverkehr – Probanden mit Bezug zur Beeinflussungssituation, jedoch mit geringer Wahrscheinlichkeit der wiederholten Befahrung.
- Pendler und regionaler Wirtschaftsverkehr – Probanden mit Bezug zur Beeinflussungssituation, mit hoher Wahrscheinlichkeit der wiederholten Befahrung.

Die Anzahl der befragten Personen sollte in jeder dieser Gruppen 100 betragen. Diese Stichprobenumfänge erfüllen die Anforderungen gem. der o. g. Faustregeln und werden zudem als ausreichend angesehen, um Ausfälle zu kompensieren und statistisch abgesicherte Aussagen treffen zu können.

Möglich wäre der folgende Frageblock mit acht Ausprägungen des Merkmals „Anzeigeinhalt“:

1. nur Information über eine Störung,
2. nur Ort/Lage der Störung,
3. nur geschätzte Reisezeitverlängerung,
4. nur Alternativroutenempfehlung,
5. Ort der Störung und Alternativroutenempfehlung,
6. Ort der Störung und geschätzte Reisezeitverlängerung,
7. geschätzte Reisezeitverlängerung und Alternativroutenempfehlung,
8. Ort der Störung, geschätzte Reisezeitverlängerung und Alternativroutenempfehlung.

Die Untersuchungsteilnehmer geben dann z. B. auf einer Skala von 1 bis 5 an, ob Sie die Normalroute verlassen würden, und zwar für jede Ausprägung. Die Ergebnisse geben Aufschluss über den Effekt der einzelnen Komponenten der Anzeige auf das Entscheidungsverhalten des Fahrers.

8 Probanden

In den vorangegangenen Ausführungen wurde an mehreren Stellen auf das Problem der Probandenrekrutierung hingewiesen. Hierzu soll im Folgenden zusammenfassend dargestellt werden,

- welche Probandengruppen für Untersuchungen zur Ermittlung von Befolgungsgraden erforderlich sind,
- welche Verfahren geeignet sind, entsprechende Personen anzusprechen, und
- welche Bedeutung die Probandengruppen für die beschriebenen Erhebungsverfahren bezüglich der zu erwartenden Ergebnisse haben.

8.1 Relevante Probandengruppen

Für Untersuchungen zur Ermittlung von Befolgungsgraden werden die folgenden Gruppen als relevant erachtet:

1. Probanden ohne Bezug zur untersuchten Beeinflussungssituation.

Erhebungsverfahren, die geeignet sind, auch aus dieser Probandengruppe verwertbare Ergebnisse zu erhalten, sind im Folgenden dargestellt.

2. Probanden mit Bezug zur Beeinflussungssituation, jedoch mit geringer Wahrscheinlichkeit der wiederholten Befahrung.

In einer Stichprobe zur Untersuchung von Befolgungsgraden einer Alternativroutenempfehlung repräsentiert diese Gruppe den Anteil der ortsunkundigen Verkehrsteilnehmer.

3. Probanden mit Bezug zur Beeinflussungssituation, mit hoher Wahrscheinlichkeit der wiederholten Befahrung.

Diese Gruppe repräsentiert das Segment der ortskundigen Verkehrsteilnehmer.

8.2 Geeignete Rekrutierungsverfahren

Auf eine umfassende Darstellung möglicher Rekrutierungsverfahren wird an dieser Stelle aus Aufwandsgründen verzichtet. Es wird als ausreichend erachtet, auf die für die vorliegende Fragestellung denkbaren Verfahren in einer tabellarischen Darstellung hinzuweisen.

Bild 27 zeigt, welche Rekrutierungsverfahren Erfolg versprechend sind, um Probanden für die Besetzung der o. g. Gruppen zu finden.

Soll z. B. eine Probandengruppe gefunden werden, die nicht unbedingt einen Bezug zur untersuchten Beeinflussungsanlage haben muss (z. B. für Zwecke der Exploration relevanter Einflussfaktoren), so können die als „geeignet“ markierten Verfahren eingesetzt werden. Oft ist es günstig, wenn gleichzeitig mehrere Rekrutierungsverfahren eingesetzt werden.

Weiterhin ist z. B. von einem geringen Erfolg auszugehen, wenn Probanden mit Situationsbezug und hoher Wahrscheinlichkeit der wiederholten Befahrung (dies sind v. a. Pendler) auf Park- oder Rastanlagen gesucht werden. Dort besteht hingegen eine gute Möglichkeit, ortsunkundige Verkehrsteilnehmer anzutreffen.

Eine Aussage über die zu erwartenden Erfolgsaussichten in Bezug auf die vorgeschlagenen Rekrutierungsverfahren kann jedoch nicht erwartet werden. Generell stoßen Untersuchungen zum

Probandengruppe Rekrutierungsverfahren	Probanden ohne Bezug zur untersuchten Beeinflussungssituation	Probanden mit Bezug zur Beeinflussungssituation, jedoch mit geringer Wahrscheinlichkeit der wiederholten Befahrung „Ortsunkundige“	Probanden mit Bezug zur Beeinflussungssituation, mit hoher Wahrscheinlichkeit der wiederholten Befahrung „Ortskundige“
Aufruf in Printmedien	•	•	-
Aufruf in lokalen/regionalen Medien	•	-	-
Aufruf in elektronischen Medien (z. B. Internet)	•	-	-
Telefon-Screening	•	-	-
Auswahl aus Adressenregistern (z. B. Melderegister, Telefonbuch, Kraftfahrzeug-Register, Mitglieder-listen etc.)	•	-	-
Rekrutierung in Betrieben (persönlich, per E-Mail)	•	-	•
Anhalten von Fahrzeugen im Bereich der VBA	•	-	•
Ansprache von Kfz-Nutzern auf Park- und Rastanlagen	•	•	-
Legende: • geeignet - ungeeignet			

Bild 27: Mögliche Verfahren zur Probandenrekrutierung für eine Untersuchung von Befolgungsgraden von Alternativroutenempfehlungen

Verkehrsverhalten (sofern die Teilnahme freiwillig ist) oft auf geringes Interesse. Eigene Erfahrungen (z. B. aus dem FE-Projekt „Erhebung der individuellen Routenwahl...“ (WERMUTH et al., 2006)) sowie Erkenntnisse der Literatur (z. B. PEETA/RAMOS, 2006) zeigen durchschnittliche „Erfolgsquoten“ von etwa 5 % (Verhältnis von teilnahmebereiten Personen zur Menge angesprochener Personen). Die Wirkung von Incentives (= Anreize, z. B. finanzielle Entschädigung, Teilnahme an Verlosungen o. Ä.) wurde bisher noch nicht ausreichend untersucht. Hier gibt es sowohl positive, aber auch negative Erfahrungen. Zwar haben Rekrutierungsverfahren mit persönlicher Kontakt zur angesprochenen Person i. d. R. höhere direkte Erfolgsaussichten, hierbei ist jedoch mit einem großen Anteil an Personen zu rechnen, die zunächst ihre Teilnahme zusagen, kurz vor oder während der eigentlichen Untersuchung jedoch ihre Teilnahme abbrechen.

8.3 Erzielbare Ergebnisse bei der Ermittlung von Befolgungsgraden

Für die Ermittlung von Befolgungsgraden ist es notwendig, Verfahren zur Datenerhebung einzusetzen, die Ergebnisse für ein möglichst umfassendes Bild

der realen Situation liefern. Hierbei spielt die Gruppe der befragten Probanden eine erhebliche Rolle.

- Probanden ohne Bezug zur untersuchten Situation zu befragen ist nur dann sinnvoll, wenn die Befragung mit Methoden der Stated Response durchgeführt wird und dem Probanden dabei die zu untersuchende Situation dargestellt wird.
- Die Befragung von Probanden, die zwar zufällig an der untersuchten Anlage vorbei fahren, für die aber eine geringe Wiederholungswahrscheinlichkeit besteht (z. B. Ferienreisende), ist nur dann sinnvoll, wenn auch Motive der Routenwahl, bezogen auf die untersuchte Netzbeeinflussungsanlage, erfragt werden.
- Mobilfunk- und satellitengestützte Verfahren sind nur für eine Erhebung in einer Probandengruppe mit Bezug zur Situation sowie einer hohen Wahrscheinlichkeit zur wiederholten Befahrung sinnvoll.

Die Bedeutung von Untersuchungsergebnissen zu Befolgungsgraden ist je nach Zusammensetzung der Probandengruppe unterschiedlich. Bild 28 zeigt in Form einer Übersicht, welche Bedeutung Untersuchungsergebnissen, die mit unterschiedlichen Erhebungsverfahren erzielt wurden, beigemessen werden kann.

Probandengruppe	Probanden ohne Bezug zur untersuchten Beeinflussungssituation	Probanden mit Bezug zur Beeinflussungssituation, jedoch mit geringer Wahrscheinlichkeit der wiederholten Befahrung „Ortsunkundige“	Probanden mit Bezug zur Beeinflussungssituation, mit hoher Wahrscheinlichkeit der wiederholten Befahrung „Ortskundige“
Erhebungsverfahren			
Mobilfunkgestützte Erhebung	-	-	○ (nur Routen, keine Motive)
Satellitengestützte Erhebung	-	-	○ (nur Routen, keine Motive)
Erfassung von Kfz-Kennzeichen	Keine Probanden erforderlich		
Schriftliche Einzelbefragung mittels Fragebogen	○ (nur allgemeine Präferenzen)	○	○
Persönliche Einzelbefragung im Verkehrssystem	○ (nur allgemeine Präferenzen)	+	+
Telefonische Befragung	○ (nur allgemeine Präferenzen)	entfällt	entfällt
Schriftliche Befragung mittels Fahrtentagebuch	○ (nur allgemeine Präferenzen)	○	+
Persönliche Befragung auf Park- und Rastanlagen	○	+	+
Hypothetische Befragung mittels Stated Response Methoden	+	+	+
Legende: + hohe Bedeutung ○ begrenzte Bedeutung - ohne Bedeutung			

Bild 28: Bedeutung von Untersuchungsergebnissen zu Befolungsgraden bei Befragung in unterschiedlichen Probandengruppen

9 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die entscheidende Größe bei der Ermittlung von Wirkungen von Alternativroutenempfehlungen ist der Befolungsgrad. Dieser muss u. a. für die Bewertung der verkehrlichen Wirkungen einer Alternativroutenempfehlung im laufenden Betrieb bestimmt werden. Außerdem wird der Befolungsgrad für die Wirkungsprognose einer geplanten Anlage benötigt.

Neben den Anzeigen auf Schildern im Verlauf einer Anlage zur Wechselwegweisung haben weitere Faktoren Einfluss auf die Entscheidung zur Befolgung. Diese sind zusammengefasst:

- die Struktur des zulaufenden Verkehrsstromes (z. B. Quellen und Ziele der Fahrten, Fahrtzwecke),
- die Informationslage (Informationen aus Verkehrsfunk, Navigationssystem, eigener Beobachtung),
- die Umfeldsituation (z. B. Wetter und Sicht, Qualität des Verkehrsflusses im Vorfeld der Ver-

kehrsbeflussungsanlage sowie am Entscheidungspunkt),

- Merkmale der Kfz-Nutzer (z. B. Ortskenntnis, Präferenzen/Motive der Routenwahl).

Für eine Abschätzung des Befolungsgrades aufgrund einer Alternativroutenempfehlung ist bisher wegen methodischer Schwierigkeiten kein allgemein gültiges und auf unterschiedliche Anlagen übertragbares Verfahren bekannt. Dies liegt vor allem daran, dass die situativen und verkehrlichen Randbedingungen an jeder einzelnen Verkehrsbeflussungsanlage deutliche Unterschiede aufweisen und die Zusammensetzung des zu beeinflussenden Verkehrsstromes auch starken zufälligen Schwankungen unterliegt.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde das Spektrum bekannter Methoden und Verfahren systematisch analysiert, um die Grundlagen zur Konzeption eines Verfahrens zur Ermittlung des Befolungsgrades von Alternativroutenempfehlungen bereitzustellen und praxisorientierte Empfehlungen für die durchzuführenden empirischen Untersuchungen zu geben.

9.1 Praktische Empfehlungen für Erhebungen zur Abschätzung von Befolungsgraden von Alternativroutenempfehlungen

Im Folgenden werden erste Empfehlungen für Erhebungen dargestellt, die von den mit der Planung und dem Betrieb von Netzbeeinflussungsanlagen befassten Institutionen durchzuführen sind, um Befolungsgrade von Alternativroutenempfehlungen im laufenden Betrieb festzustellen. Die auf diese Weise ermittelten Daten sollten durch Ergebnisse einer in Kapitel 9.2 ausführlich beschriebenen wissenschaftlichen Untersuchung ergänzt werden, die das Ziel hat, die Effekte relevanter Einflussfaktoren auf die Entscheidung zur Wahl alternativer Routen zu ermitteln. Auf diese Weise wird eine genauere Vorausabschätzung von Wirkungen von Netzbeeinflussungsanlagen möglich.

9.1.1 Ermittlung von Befolungsgraden anhand gemessener Verkehrsdaten (ex-post)

Der Befolungsgrad einer Alternativroutenempfehlung soll im laufenden Betrieb einer bestehenden Anlage ermittelt werden.

In diesem Fall wird empfohlen, den Befolungsgrad auf Basis gemessener Verkehrsdaten (Fahrzeugmengen) zu berechnen. Unter der Annahme, dass die beobachtete Veränderung der Aufteilungsraten unmittelbar nach Einschalten einer Anzeige auf den Einfluss der Anzeige am Schild zurückgeführt werden kann (dieser kann durch Versuchsschaltungen (vgl. Kapitel 4.5) nachgewiesen werden), wird empfohlen, die erforderlichen Verkehrsdaten in einem engen Zeitraum von höchstens 15 Minuten vor und nach Einschalten einer Empfehlung zu erfassen und gemäß der in Kapitel 4.2 dargestellten Definition des Befolungsgrads auszuwerten.

Eine genauere Ermittlung des Befolungsgrades ist durch die Berücksichtigung des – aufgrund der Lage von Quelle und Ziel der Fahrt – beeinflussbaren Verkehrsanteils möglich. Da die Zusammensetzung des Verkehrsstroms hinsichtlich der Quelle-Ziel-Ströme im Zeitraum einer Beeinflussungsmaßnahme nicht bekannt ist, bietet sich eine Annäherung an die tatsächlichen Verhältnisse über die Auswertung automatisch erfasster Kfz-Kennzeichen an, die in einer Langzeitbeobachtung durchgeführt wird.

Dazu müssen der betreffende Untersuchungsraum abgegrenzt und relevante Messquerschnitte zur Erfassung von Kfz-Kennzeichen festgelegt werden. Auf diese Weise sind eine Verfolgung von Individualfahrzeugen über mehrere Querschnitte sowie die Auswertung hinsichtlich der Beeinflussbarkeit möglich. Anschließend werden die Befolungsgrade für die beeinflussbaren Verkehrsanteile anhand der in Kapitel 4.2 hergeleiteten Formel getrennt nach Kfz-Kennzeichen bestimmt.

Die in der Langzeitbeobachtung gesammelten Daten müssen im Folgenden durch geeignete statistische Verfahren analysiert werden (z. B. Cluster- oder Faktorenanalysen), um Aussagen zu den Ursachen von Unterschieden in den Ergebnissen treffen zu können. In derartigen Analysen werden Betrachtungen des Befolungsgrades hinsichtlich geeigneter Vergleichsgruppen angestellt. Denkbar sind z. B. die folgenden Vergleichsgruppen:

- Tagestyp (normaler Werktag, Ferientag usw.),
- Wochentag und Tageszeit,
- vorherrschende mittlere Geschwindigkeit zum Schaltzeitpunkt,
- Radiomeldung,
- Zustand umgebender Variablen (z. B. Streckenbeeinflussung),
- Art der Störung.

9.1.2 Abschätzung von Befolungsgraden anhand von Daten möglichst ähnlicher Anlagen (ex-ante)

Eine Anlage zur Wechselwegweisung wird geplant. Zur Ermittlung des Nutzens bei der Planung einer Anlage soll der zu erwartende Befolungsgrad in akzeptabler Genauigkeit abgeschätzt werden. Hierfür wird empfohlen, Befolungsgrade anderer, möglichst ähnlicher Anlagen heranzuziehen, die während des Betriebs mit dem in Kapitel 9.1.1 empfohlenen Verfahren ermittelt wurden.

Hierzu ist die Vergleichbarkeit von Anlagen anhand eindeutiger, messbarer Kriterien nachzuweisen. Dieser Nachweis ist jedoch nur unter hohem Aufwand zu erbringen. Aus Sicht der Praxis wird die Durchführbarkeit dieses Verfahren jedoch nicht grundsätzlich abgelehnt, da es oft die einzige Möglichkeit darstellt, bei begrenzten Ressourcen eine Abschätzung des Befolungsgrades zu treffen.

Die folgenden relevanten Kriterien zur Klassifizierung von Netzbeeinflussungsanlagen werden vorgeschlagen:

- Art der Anlage (additive, substitutive, Textinformationen),
- Lage der Anlage (innerhalb vorhandener VBA/NBA/SBA),
- Größe der Netzmaschen, Anzahl der Entscheidungspunkte, Anzahl der Anschlussstellen,
- Typ des nachgeordneten Netzes bzw. der Streckentyp der Alternativroute (Leistungsfähigkeit),
- Art der ausgeschilderten Ziele (regional (Messe, Stadion, Flughafen, ...) oder überregional (Stuttgart, Nürnberg, ...)),
- Verkehrszusammensetzung am beeinflussten Querschnitt (Fahrziele, Fahrzeugarten).

9.2 Wissenschaftliches Erhebungskonzept

Es wird angenommen, dass ein Verkehrsteilnehmer diejenige Route für seine Fahrt auswählt, die ihm den größten Nutzen verspricht. Der Nutzen ist dabei durch eine Funktion vieler individueller Einflussfaktoren bestimmt. Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen verändern bestimmte, messbare Eigenschaftsausprägungen des Verkehrssystems (z. B. Verkehrsqualität am beeinflussten Querschnitt) und damit ihren Einfluss auf die Entscheidung des Verkehrsteilnehmers. Kernelement von Untersuchungen, deren Ziel es ist, den Einfluss von Anlagen zur Wechselwegweisung auf die Befolgung von Alternativroutenempfehlungen zu ermitteln, ist daher die Analyse individueller Präferenzen der Verkehrsteilnehmer.

Erhebungsverfahren zur Ermittlung individueller Präferenzen

Ansätze, die auf Beobachtungen bereits vollzogener Handlungen basieren (sog. revealed preferences), sind aus mehreren Gründen ungeeignet und verhindern die Schätzung individueller Präferenzfunktionen:

- Eigenschaftsausprägungen unterliegen i. d. R. starken Korrelationen (z. B. Reisezeit und Kosten),
- bestimmte Kombinationen von Ausprägungen sind überhaupt nicht zu beobachten (z. B. kurze Reisezeit und hohe Kosten),

- die Varianz der Daten zur Routenwahl ist gering (bei gleichem Fahrtzweck wird häufig die gleiche Route gewählt).

Zur Messung individueller Präferenzen bietet sich jedoch die Methode der Stated Response (Einstellungsanalyse) an⁶. Das wesentliche Ziel bekannter Verfahren dieser Methode ist es, die Effekte einzelner Einflussfaktoren auf die Routenwahlentscheidung zu ermitteln.

So können beispielsweise mit einer Stated-Response-Untersuchung die folgenden Fragen beantwortet werden:

- Welche Einflussfaktoren werden von Verkehrsteilnehmern als besonders wichtig für die Entscheidung für eine bestimmte Routenalternative beurteilt?
- Welche Änderungen des Befolgungsgrades können mit einer Änderung der Randbedingungen (z. B. durch zusätzliche Angabe der Störungsursache auf Anzeigen an Wechselwegweisern) erzielt werden?
- Welchen Effekt hat eine Anlage zur Wechselwegweisung auf das Routenwahlverhalten der Verkehrsteilnehmer an einem bestimmten Streckenabschnitt und welche Maßnahmen müssen ergriffen werden, um die Effekte einer solchen Anlage zu beeinflussen?

Ergebnis derartiger Untersuchungen sind sog. Nutzenwerte, die den Beitrag eines Einflussfaktors auf den Gesamtnutzen einer Route darstellen und somit (zumindest theoretisch) einen Schluss darauf zulassen, auf welche Anteile einzelner Einflussfaktoren oder deren Kombinationen sich Befolgungsgrade, die an Netzbeeinflussungsanlagen im laufenden Betrieb festgestellt wurden, zurückführen lassen. Dabei geht die Methode von folgenden Grundannahmen aus:

- Die Entscheidung, eine bestimmte Routenalternative zu nutzen, hängt davon ab, welcher individuelle Nutzen damit verbunden wird.
- Jede Routenalternative ist durch mehrere Eigenschaften charakterisiert. Der Gesamtnutzen einer Route setzt sich daher aus den Teilnutzen der einzelnen Eigenschaften zusammen.

⁶ In der Literatur wird synonym auch der Begriff „Conjoint-Analyse“ verwendet.

- Jedes Individuum gewichtet die einzelnen Eigenschaften unterschiedlich.
- In der Entscheidungssituation wird die Route in der Regel als Gesamtpaket bewertet. Die Teilnutzenwerte können daher nicht isoliert gemessen werden.

Hier liegt der wesentliche Vorteil der Stated-Response-Methode. Nicht die Frage nach der Wichtigkeit einzelner Eigenschaften einer Route steht hierbei im Vordergrund, sondern vielmehr zu bewertende Gesamtpakete (Merkmalsprofile) mit unterschiedlichen Eigenschaftsausprägungen. Gerade durch dieses gleichzeitige kritische Abwägen der Vor- und Nachteile der Einflussfaktoren wird dem Verkehrsteilnehmer die tatsächliche Bedeutung der Eigenschaften bewusst.

Beispiel: Es wird nicht gefragt, wie wichtig die zu erwartende Verkürzung der Reisezeit bei der Entscheidung für oder gegen die Wahl der empfohlenen alternativen Route ist, sondern es werden z. B. zwei Merkmalsprofile vorgestellt (Bild 29).

Die befragte Person muss sich entscheiden, welches Merkmalsprofil stärker auf eine Entscheidung für das Befahren der Alternativroute hinwirkt. Die Bedeutung der einzelnen Einflussfaktoren für ihre Entscheidung wird nun rückwärts aus ihrer Entscheidung für oder gegen diese Merkmalsprofile berechnet. Dieses Vorgehen wird als dekompositionelles Verfahren bezeichnet: Nach der Bewertung der Merkmalsprofile wird mittels geeigneter statistischer Verfahren auf die Beiträge der einzelnen Einflussfaktoren zum Zustandekommen des Urteils abgeleitet.

Das Hauptproblem der dekompositionellen Verfahren besteht darin, dass – wie das obige Beispiel bereits zeigt – in ihrem Rahmen nur eine sehr be-

Verkehrszustand während der Anfahrt auf den Entscheidungspunkt: zähflüssig	Verkehrszustand während der Anfahrt auf den Entscheidungspunkt: zähflüssig
Ein Schild empfiehlt die Nutzung einer alternativen Route: ja	Ein Schild empfiehlt die Nutzung einer alternativen Route: ja
Der Verkehrsfunk meldet eine Störung: nein	Der Verkehrsfunk meldet eine Störung: ja
Die alternative Route wurde bereits mindestens einmal befahren: nein	Die alternative Route wurde bereits mindestens einmal befahren: nein
Erwartete Reisezeitverkürzung für Alternativroute: > 10 min	Erwartete Reisezeitverkürzung für Alternativroute: < 10 min

Bild 29: Beispiele für Merkmalsprofile

grenzte Zahl von entscheidungsrelevanten Einflussfaktoren berücksichtigt werden kann, da sonst die Zahl der zu beurteilenden Alternativen zu groß wird. Anstelle vollständiger Versuchspläne sind daher partielle Versuchspläne zu verwenden, die die Anzahl der Entscheidungssituationen soweit wie möglich reduzieren, während die statistische Unabhängigkeit der Einflussfaktoren möglichst bewahrt wird. Dies ist möglich, wenn die dekompositionelle Befragung um einen vorgeschalteten kompositionellen Befragungsteil erweitert wird, in dem die Bedeutung der Einflussfaktoren durch die Befragten separat beurteilt wird. Der Aufwand zur Erstellung solcher erweiterten Untersuchungen lässt sich durch Verwendung geeigneter Computer-Software deutlich reduzieren.

Derartige Programme sind bereits weit entwickelt und anwenderfreundlich. Als Beispiel sei das Software-Paket „Umfragecenter“ der Globalpark GmbH, Hürth, genannt, welches ein Conjoint-Analyse-Modul, genauer „Adaptive Conjoint Analysis“ (ACA) enthält. Das ACA-Modul ermittelt mit Hilfe multivariater Analyseverfahren Teilnutzenwerte, indem einzelne Einflussfaktoren mit jeweils unterschiedlichen Merkmalsausprägungen paarweise verglichen werden. Die Erstellung der abgefragten Paarvergleiche wird von der Software vorgenommen. Sie variiert in Abhängigkeit der zuvor gegebenen Antworten der Befragungsteilnehmer (Probanden). Da zuvor gegebene Antworten den weiteren Fragenverlauf beeinflussen, wird die Befragung als „adaptiv“ bezeichnet. Auf diese Weise ergibt sich ein maximaler Informationsgewinn je zusätzlicher Frage.

Im Folgenden werden Vorüberlegungen zur Konzeption sowie der Befragungsablauf einer Stated-Response-Untersuchung dargestellt, deren Ziel es ist, den Einfluss von Anlagen zur Wechselwegweisung auf die Befolgung von Alternativroutenempfehlungen zu ermitteln.

9.2.1 Vorüberlegungen zur Konzeption einer Stated-Response-Untersuchung

Bestimmung der Merkmale (Einflussfaktoren)

Zunächst muss entschieden werden, welche und wie viele Merkmale relevant für die Präferenzbildung der Befragten sind. Dieser Schritt ist insofern kritisch, da das Vergessen wichtiger Merkmale die Ergebnisse der Befragung invalide macht. Darüber hinaus müssen die untersuchten Merkmale urteilsrelevant sein und in einer kompensatorischen Be-

ziehung zueinander stehen, d. h., es darf keine Ausprägungen von Eigenschaften geben, bei deren Nichterfüllung alle Alternativen – unabhängig von den anderen Eigenschaften – abgelehnt werden.

Das Routenwahlverhalten ist durch Einflussfaktoren beeinflusst, die die Fahrt, Routenalternativen, den Fahrer sowie die ihm zur Verfügung stehende Information charakterisieren, aber auch durch Faktoren, die sich aus der verkehrlichen Situation ergeben (vgl. Kapitel 5.2). Die Stated-Response-Untersuchung ist daher so zu entwerfen, dass alle diejenigen Einflussfaktoren berücksichtigt werden, für die auf Basis anderer Untersuchungen ein wesentlicher Einfluss auf die Routenwahl angenommen wurde.

Für die vorliegende Fragestellung wurden relevante Einflussfaktoren ausgearbeitet. Diese finden sich in Kapitel 4 dieser Arbeit ausführlich erläutert.

Bestimmung der Merkmalsausprägungen

Auch bei der Bestimmung der Merkmalsausprägungen müssen einige wichtige Aspekte beachtet werden:

Merkmalsausprägungen müssen

- im Rahmen der Vorgaben realistisch sein,
- ein Spektrum abdecken, das beim Befragten ein Nachdenken über bisherige Entscheidungen erzwingt,
- so weit gestreut sein, dass die wahrscheinlichen Grenzwerte (Schwellenwerte für eine Änderung der Entscheidung) enthalten sind und
- so geringe Abstände voneinander haben, dass die Grenzwerte möglichst genau geschätzt werden können.

Eine Stated-Response-Untersuchung kann theoretisch gesehen beliebig viele Merkmale gleichzeitig verarbeiten. In der Regel ist allerdings eine kleinere Anzahl vorzuziehen, da der Befragungsaufwand mit steigender Anzahl der Merkmale und deren Ausprägungen potenziell wächst. Die Anzahl der möglichen Kombinationen errechnet sich in Abhängigkeit von der Zahl der Einflussfaktoren und deren Ausprägungen aus:

$$A = \prod_i (k_i)^{n_i} = 2^{n_2} \cdot 3^{n_3} \cdot 4^{n_4} \cdot \dots \cdot i^{n_i}$$

mit

Fahrer- und fahrtenspezifische Einflussfaktoren	
Merkmal/Einflussfaktor	Ausprägungen
Ziel der Fahrt	- lokales Ziel (Umkreis bis 5 km zum Knotenpunkt) - regionales Ziel (Umkreis bis 30 km zum Knotenpunkt) - Fernziel (weiter als 30 km vom Knotenpunkt entfernt)
Zeitbindung	- pünktlich maximal 5 Minuten Verspätung - flexibel
Reisezeitdifferenz zwischen Normal- und Alternativroute (Vorteil bei Nutzung der Alternativroute gegenüber Normalroute)	- keine Differenz (bis 5 Minuten) - Reisezeitverkürzung beträgt mehr als 10 Minuten - geringe Verkürzung der Reisezeit (5 bis 10 Minuten)
Erfahrungen mit Routenwechseln	- nie - gelegentlich - oft
Erfahrungen mit Befolgung von Alternativroutenempfehlungen	- nie - gelegentlich - immer
Erfahrungen mit Wechselwegweisern hinsichtlich Plausibilität	keine Erfahrungen - positive Erfahrungen - negative Erfahrungen
Wichtigkeit des beobachteten Verkehrszustands	- nicht wichtig ... sehr wichtig
Wichtigkeit der Meldungen des Verkehrsfunks	- nicht wichtig ... sehr wichtig
Wichtigkeit der Wechselwegweisung	- nicht wichtig ... sehr wichtig

Bild 30: Ansatz für die Festlegung fahrer- und fahrtenspezifischer Merkmale und ihrer Ausprägungen

A = Anzahl der Merkmalskombinationen eines Versuchsplans

k_i = Anzahl der zum Einflussfaktor gehörenden Ausprägungen

n_i = Anzahl der Einflussfaktoren mit i Ausprägungen

Des Weiteren besteht die Gefahr des so genannten „Information Overload“. Wenn die Anzahl der zu beurteilenden Merkmale zu groß wird, neigen die Befragten dazu, sich nur auf die für sie wichtigsten Merkmale zu konzentrieren. Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, die Anzahl der Merkmale und deren Ausprägungen möglichst klein zu halten (nicht mehr als 6 Einflussfaktoren mit jeweils 4 bis 5 Ausprägungen)⁷.

Auch die Ausprägungen der Eigenschaften wurden in dieser Arbeit (vgl. Kapitel 4) analysiert. Sofern

Einflussfaktoren der verkehrlichen Situation	
Merkmal/Einflussfaktor	Ausprägungen
Verkehrszustand	- frei - zäh fließend - gestaut
Meldung des Verkehrsfunks	- keine Meldung (freier Verkehrsfluss) - zäh fließend - gestaut
Wechselwegweisung	- inaktiv - aktiv (Umleitungsempfehlung)
Anzeigehalt	- Umleitungsempfehlung - zusätzliche Anzeige „Störungsursache“ - zusätzliche Anzeige „Störungsart“ - zusätzliche Anzeige „erwartete Reisezeitdifferenz“
Streckenbeeinflussung	- inaktiv - aktiv (Geschwindigkeitsbeschränkung)

Bild 31: Ansatz für die Festlegung von Merkmalen der verkehrlichen Situation und ihrer Ausprägungen

spezifische Eigenschaften an einer zu untersuchenden Netzbeeinflussungsanlage vorliegen, sollten diese jedoch angepasst werden.

Die Bilder 30 und 31 enthalten als ersten Ansatz die Zusammenfassung der Ergebnisse aus Kapitel 4 (Merkmale und ihre Ausprägungen).

Festlegung des Präferenzmodells

Der Gesamtnutzen einer Routenalternative setzt sich aus den Beiträgen der Teilnutzen der relevanten Einflussfaktoren zusammen. Daher ist vor der Durchführung der statistischen Nutzenschätzung ein Präferenzmodell zu spezifizieren. Dabei ist u. a. der Zusammenhang zwischen merkmalspezifischen Teilnutzen und dem Gesamtnutzen funktional zu beschreiben.

Hierfür kommen zwei Modelle in Betracht (Bild 32):

- Das Idealvektormodell: Ihm liegt die Annahme zugrunde, dass sich der Teilnutzen proportional

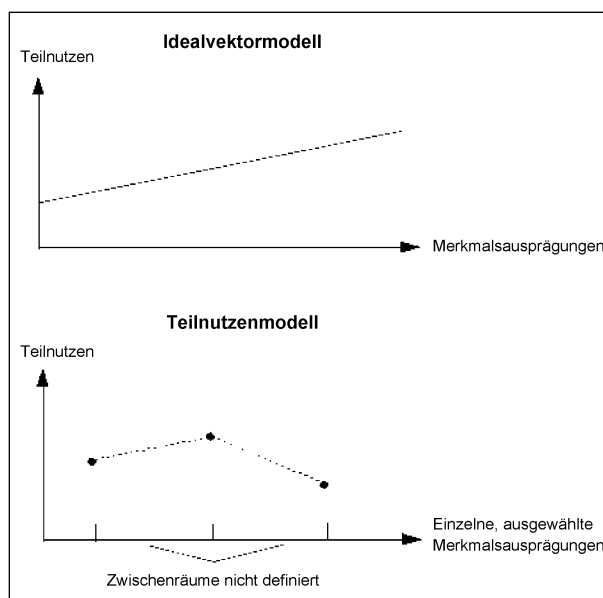


Bild 32: Alternative Bewertungsfunktionen von Präferenzmodellen

zur Merkmalsausprägung verhält. Es ist daher vor allem für metrisch skalierte Merkmale verwendbar.

Beispiel: Das Merkmal „Reisezeitdifferenz“ wird von der schlechtesten bis zur besten Ausprägungsstufe geordnet (Idealvektormodell), da man davon ausgehen kann, dass die Befragten Routen, die eine geringere Reisezeit haben, besser beurteilen als Routen mit größerer Reisezeit.

- Das Teilnutzenmodell: Es ist nicht auf einen bestimmten Funktionsverlauf fixiert, sondern lässt für verschiedene Merkmalsausprägungen unterschiedliche Funktionsverläufe zu und ist daher geeignet, wenn die Nutzenwerte in keinem funktionalen Zusammenhang zueinander stehen, also keine Nutzenfunktion unterstellt werden kann.

Beispiel: Anzeigehalt, Meldung des Verkehrsfunks, Erfahrungen usw.

Sofern keine eindeutige Modellschätzung vorgenommen werden kann, empfiehlt sich ein Pretest mit wenigen Probanden (ca. 20 ortsunkundige Personen).

Zur Ermittlung des Gesamtnutzens müssen die Teilnutzenwerte zu einem Wert zusammengefasst werden. Hierfür ist eine Verknüpfungsfunktion (sinnvollerweise ein additives Modell) zu definieren, mit dem sich der Gesamtnutzen einer Route aus der Summe der Teilnutzenwerte ergibt.

⁷ Die Empfehlung gemäß FGSV (1996) lautet in diesem Zusammenhang, „die Zahl der verwendeten Einflussfaktoren nicht zu groß werden zu lassen (möglichst kleiner als zehn), um die Handhabbarkeit der Aufgabe für den Befragten zu gewährleisten“.

Umsetzung der Befragung

In einer hypothetischen Befragung ist die Identifikation des Befragten mit der Entscheidungssituation ein entscheidendes Kriterium zur Gewinnung realistischer Daten. Daher ist bei der Präsentation der Entscheidungssituationen auf eine hohe Realitätsnähe, mit der Möglichkeit der Anpassung an individuelle Gewohnheiten zu achten. Dies kann bei einer computer-gestützten Befragung durch Einbindung von Videosequenzen erfolgen, die z. B. die Anfahrt auf ein durch eine Netzbeeinflussungsanlage beeinflusstes Autobahnkreuz aus der Sicht des Fahrzeugführers darstellen. Hierin müssen die zu beurteilenden Einflussfaktoren eindeutig wahrgenommen werden.

Die hierfür notwendigen technischen Voraussetzungen bietet (allerdings bei hohem Vorbereitungsaufwand) zum einen eine audio-visuelle Computersimulation (Fahr Simulator). Sofern ein solcher verwendet wird, sollte in der Vorbereitung der Studie Wert darauf gelegt werden, die Reaktionen der Befragten in den jeweiligen Entscheidungssituationen automatisch direkt zu erfassen und Ergänzungen durch Beobachtungs- und Befragungsdaten vornehmen zu können.

Zum anderen ist aber auch mit den oben erwähnten Software-Lösungen eine derartige Umsetzung möglich. Aus der Erfordernis der realitätsnahen Darstellung wird noch einmal der hohe Aufwand einer Untersuchung deutlich, wenn alle möglichen Anlagentypen (additive WWW, substitutive WWW, sonstige Textanzeigen) mit ihren speziellen Randbedingungen (Größe der Netzmaschen, verkehrliche Rahmenbedingungen) untersucht werden sollen.

9.2.2 Aufbau des Fragebogens/Interviews

Im Folgenden wird der prinzipielle Ablauf eines Stated-Response-Interviews phasenweise beschrieben.

Phase 1: Bewertung der Merkmale

In dieser Phase des Fragebogens werden dem Befragten die Merkmale mit den Merkmalsausprägungen zur Bewertung vorgelegt. Als zu bewertende Merkmale sollten in dieser Phase die in Kapitel 4 genannten Merkmale/Einflussfaktoren, deren Bedeutung für die Routenwahl in früheren empirischen Untersuchungen gezeigt wurde, herangezogen werden. Diese sind für jede Anlagentyp (additiv,

substitutiv, dWista) zu berücksichtigen und auf dieser Basis die Entscheidungen zu treffen. Für die Bewertung der Merkmalsausprägungen können sowohl metrische (Rating-Verfahren) als auch nicht-metrische Verfahren (Rangordnungs- bzw. Ranking-Verfahren) gewählt werden.

Alternativ zu einem beschreibenden Text für jede Merkmalsausprägung sollten auch Bilder oder weitere Multimedia-Elemente verwendet werden, da es wichtig ist, dem Befragten unmissverständlich zu verdeutlichen, welche Eigenschaften zu beurteilen und welche irrelevant sind.

Beispiel:

Bitte geben Sie in einer Reihenfolge an, welche Inhalte eine Anzeige auf einem Schild enthalten sollte, wenn eine Störung auf dem vor Ihnen liegenden Streckenabschnitt bekannt ist und die Befahrung einer alternativen Route empfohlen wird. (Welche Anzeigehalte beeinflussen Ihre Entscheidung am meisten?)

Die Beantwortung erfolgt in Form eines Rankings, hier z. B. die Reihenfolge: 1. empfohlene Fahrtrichtung, 2. Stauursache, 3. erwartete Reisezeitverkürzung bei Nutzung der Alternativroute.

Phase 2: Wichtigkeit der Merkmale

In der nächsten Phase des Interviews wird die Wichtigkeit der Merkmale ermittelt. Zu diesem Zweck müssen die Befragten für jedes Merkmal angeben, wie wichtig Ihnen der Unterschied zwischen der am wenigsten und der am meisten präferierten Ausprägung je Merkmal ist, die in Phase 1 angegeben wurde. Die Befragten sollen davon ausgehen, dass alle anderen Merkmale identisch ausgeprägt sind. Zur Bewertung der Wichtigkeit von Merkmalen ist eine Rating-Skala sinnvoll.

Beispiel:

Wie wichtig ist Ihnen (bei ansonsten identischen Bedingungen) die Angabe „empfohlene Fahrtrichtung“ im Verhältnis zur Angabe der „Stauursache“?

Zur Beantwortung werden fünf Kategorien angeboten, z. B. von „nicht wichtig (1)“ bis „sehr wichtig (5)“.

Zum Abschluss werden die Werte aus der Bewertungsphase (Phase 1) mit den jeweiligen Wichtigkeiten multipliziert. Die daraus resultierenden Teilnutzenwerte werden anschließend zur Konstruktion

der Merkmalsprofile, die der Befragte in der nächsten Phase des Interviews paarweise bewerten muss, herangezogen.

Phase 3: Paarvergleiche

Im Verlauf der Befragung werden den Probanden jeweils zwei Alternativen zur Bewertung vorgelegt, bei denen er aufgrund der ermittelten Teilnutzenwerte tendenziell indifferent sein müsste. Der Befragte muss nun angeben, welche Alternative er präferiert und wie stark die Präferenz ist. Auf Grundlage der Präferenzangabe des Befragten werden die ungefähren Teilnutzenwerte sukzessive korrigiert und auf diese Weise eine Annäherung an den „wahren“ Teilnutzenwert erreicht.

Beispiel:

Bitte geben Sie für die folgenden Situationen an, wie stark Sie dazu neigen, (unter sonst gleichen Bedingungen) die Empfehlung anzunehmen und die Alternativroute zu wählen.

A: Der Verkehrsfunk meldet eine Störung; die Anzeige am Schild empfiehlt ohne weitere Angaben eine Umleitung.

B: Der Verkehrsfunk meldet keine Störung; die Anzeige am Schild empfiehlt unter Angabe der Störung eine Umleitung.

Der Befragte kann nun angeben, in welcher Situation er die Alternativroute wählt („ich wähle die Alternativroute in Situation A“ bzw. „ich wähle die Alternativroute in Situation B“) und bewertet seine Präferenz anhand einer Skala:

ich wähle die Alternativroute in Situation A			0	ich wähle die Alternativroute in Situation B		
3	2	1		1	2	3

Bewertungen in Richtung A sagen aus, dass der Proband eher Wert auf eine Verkehrsfunkmeldung legt als auf die Angabe der Störungsart. Bewertungen in Richtung B deuten auf einen höheren Wert der Anzeige der Störungsart am Schild hin.

Ist die Bewertung des Probanden 0, so bedeutet dies, dass er gegenüber den untersuchten Merkmalen „Meldung im Verkehrsfunk“ und „Angabe der Störungsart“ indifferent ist. Der Wert beider Einflussfaktoren ist gleich, jedoch nicht automatisch „null“. Die Entscheidung zur Routenwahl fällt aufgrund anderer Einflüsse.

Erfolgen nach jedem Paarvergleich eine Regression und Anpassung der Nutzenwerte für die Situationsnutzen, so wird die Schätzung der Teilnutzenwerte mit jedem Paarvergleich genauer.

Phase 4: Kalibrierung

In der letzten Phase des Interviews muss der Befragte Wahrscheinlichkeiten für die Wahl der Alternativroute angeben. Dazu wird dem Befragten zuerst die am wenigsten präferierte Situation, gefolgt von der am meisten präferierten Situation und einigen Situationen mittlerer Attraktivitäten zur Bewertung vorgelegt.

Beispiel:

Eine mögliche zu bewertende Situation wäre die folgende:

Bitte bewerten Sie, mit welcher Wahrscheinlichkeit (von 0 bis 100 %) Sie in der folgenden Situation die empfohlene Alternativroute wählen würden.

Situation: Verkehrsfunk meldet eine Störung; der zu beobachtende Verkehr ist zähflüssig; ein Schild empfiehlt die Nutzung einer alternativen Route; es bestehen positive Erfahrungen in der Nutzung der alternativen Route; eine pünktliche Ankunft am Ziel ist mit einem Spielraum von 10 Minuten erforderlich.

Diese Phase dient zur Gewinnung vor allem folgender Erkenntnisse:

- Prüfung der Antwortkonsistenz vorangegangener Phasen durch Korrelationsanalyse. Inkonsistente Antworten können auf diese Weise gefiltert und von der Analyse ausgeschlossen werden.
- Anhand der Wahrscheinlichkeiten der Wahl der Alternativroute kann festgestellt werden, wie affin ein Befragter gegenüber spontanen Routenwechseln ist. Sollten selbst bei offensichtlich sehr günstigen Situationen niedrige Annahmewahrscheinlichkeiten bestehen, so ist dies ein Indiz für den inhärenten Widerstand gegenüber Empfehlungen alternativer Routen.
- Die Variation der Wahrscheinlichkeiten von der günstigsten bis zur ungünstigsten Situation gibt Aufschluss darüber, wie sensibel der Befragte bei seiner Routenwahl-Entscheidung auf situative Änderungen reagiert.

9.2.3 Ergebnisse der Stated-Response-Befragung

Die Schätzung der Nutzenparameter der Stated-Response-Befragung erfolgt für jeden einzelnen Befragten getrennt. Dies ist möglich, da jedem Befragten im Rahmen der Befragung genügend Merkmalsprofile vorgelegt werden, sodass ausreichend viele Messwerte zur Verfügung stehen, um für jeden einzelnen Befragten ein eigenes Präferenzmodell zu schätzen. Die individuelle Analyse ist der gemeinsamen Analyse vorzuziehen, da hierbei nicht die Gefahr besteht, bei heterogener Grundgesamtheit wertvolle Informationen durch Glättung zu verlieren (sog. Mehrheitstrugschluss).

Als Ergebnis der Stated-Response-Befragung werden für jeden Befragten folgende zentrale Werte ausgegeben:

- Teilnutzenwerte aus der Merkmalsbewertung,
- Teilnutzenwerte aus der Paarvergleichsphase,
- Gesamtnutzenwerte (Kombination der Teilnutzenwerte aus Merkmalsbewertung und Paarvergleichsphase).

Darüber hinaus wird für die Angaben der Befragten zu jeder Frage die relative Wichtigkeit der Merkmale gegenüber anderen Merkmalen ermittelt. Dieses Ergebnis erlaubt die Ableitung von Variationsmöglichkeiten zur optimalen Gestaltung der untersuchten Alternative.

Eine Aussage über die Wichtigkeit eines Merkmals an sich kann jedoch nur durch direkte Befragung (siehe Phase 2: Bewertung der Wichtigkeiten) erfasst werden.

9.2.4 Übertragung der Nutzenwerte auf größere Gruppen

Im Rahmen einer Stated-Response-Untersuchung wird mit Hilfe der Schätzung der Nutzenwerte die Präferenz bestimmter Einflussfaktoren individuell ermittelt. Im Allgemeinen richtet sich das Interesse jedoch auf die Betrachtung einer größeren Gruppe von Verkehrsteilnehmern und weniger auf das Verhalten einzelner Individuen.

Um Aussagen über die Nutzenbewertungen von Personengruppen abzuleiten, müssen folglich die Ergebnisse der Individualanalyse durch Mittelwertbildung aggregiert werden. Eine solche Aggregation ist allerdings mit erheblichen Informationsverlusten verbunden, die umso höher ist, je heterogener die individuellen Nutzenstrukturen ausfallen.

Es ist daher besser, die Befragten zu Gruppen zusammenzufassen, die hinsichtlich ihrer Präferenzstrukturen möglichst homogen und untereinander möglichst heterogen sind. Hierzu wird in der Regel das Verfahren der Cluster-Analyse verwendet. Die Basisvariablen zur Clusterbildung bilden dabei die Nutzenwerte der untersuchten Merkmale. In der Praxis bedeutet dies, dass zunächst eine möglichst große Anzahl von Personen an der Befragung teilnimmt und diese anschließend anhand der zuvor ermittelten Nutzenwerte bestimmter Einflussfaktoren (z. B. Verkehrszustand, Zeitbindung o. Ä.) in Gruppen eingeteilt werden. Dabei ist zu beachten, dass die Erhebungskosten mit der Genauigkeit der Beschreibung der Gruppe zunehmen. Hier ist ein Kompromiss zu finden zwischen erforderlicher Genauigkeit und verfügbaren Ressourcen.

9.2.5 Stichprobenumfang/Stichprobenauswahl/Probandengewinnung

Stichprobenumfang

Eine Angabe über die zur Erreichung vorgegebener statistischer Sicherheiten notwendigen Stichprobenumfänge bzw. Gruppengröße kann nur bei Vorliegen genauer Angaben über die zu untersuchenden Merkmale erfolgen. Eine sehr grobe Schätzung des Stichprobenumfangs ist in den „Hinweisen zur Messung von Präferenzstrukturen mit Methoden der Stated Preference“ angegeben. Dort wird eine Mindestgruppengröße von 50 Personen und ein wünschenswerter Umfang von 70 bis 90 Personen empfohlen.

Zielgruppen können z. B. die verschiedenen Verkehrsarten Durchgangsverkehr, Pendler und regionaler Wirtschaftsverkehr, überregionaler Wirtschaftsverkehr sein.

Die Anzahl befragter Personen aus jeder dieser Gruppen sollte 100 betragen. Diese Stichprobenumfänge erfüllen die Anforderungen gem. der o. g. Faustregeln und werden zudem als ausreichend angesehen, um Ausfälle zu kompensieren und statistisch abgesicherte Aussagen treffen zu können.

Sofern Informationen über die anzutreffenden Varianten des zu untersuchenden Merkmals in der Grundgesamtheit vorliegen, sollten die o. g. Faustregeln durch eine genauere Berechnung des notwendigen Stichprobenumfangs ersetzt werden (vgl. Kapitel 6.4.2).

Stichprobenauswahl

Zur Auswahl der Stichprobe bzw. zur Gewinnung von Teilnehmern für die Stated-Response-Befragung wird empfohlen, bundesweit einen Aufruf über lokale und regionale Printmedien zu verbreiten (z. B. Zeitschriften der Zielgruppe Autofahrer). Auch die Möglichkeit der Adressenziehung aus dem Mitgliederverzeichnis des ADAC-Regionalverbandes oder registrierten ADAC-Staumeldern ist zu empfehlen. Die ausgewählten Personen können dann schriftlich kontaktiert werden, wobei hier auch die Möglichkeit des Versands eines Fragebogens gegeben ist, der bestimmte Grundhaltungen in Bezug auf Alternativroutenempfehlungen auf Autobahnen erfragt. Zusätzliche Datensätze können über Internet-Befragungen gewonnen werden (Platzierung eines Teilnahmeaufrufs auf Internet-Seiten mit der Zielgruppe Autofahrer bzw. Einladung zur Teilnahme über E-Mail). Ortskenntnis über die untersuchte Situation ist in einer Stated-Response-Untersuchung nicht erforderlich, da – wie oben definiert – allgemeine Präferenzen untersucht werden. Die eigentliche Bearbeitung der Befragung sollte aber möglichst selbstständig durch die Probanden erfolgen. Hier wäre z. B. ein Zugriff auf die Befragung über das Internet sinnvoll.

Sofern eine bestimmte, reale Situation untersucht werden soll (ein real vorhandener Knotenpunkt soll mit einer Netzbeeinflussungsanlage ausgestattet werden), ist die Untersuchung einer zusätzlichen Gruppe aus ortskundigen Personen sinnvoll. In dieser Probandengruppe können neben den fahrerspezifischen Einflussfaktoren auch Einflussfaktoren, die die spezielle Situation und das Informationsumfeld betreffen, im Voraus erhoben werden:

- Tag und Uhrzeit, an denen normalerweise der betreffende Bereich befahren wird,
- vorwiegender Fahrtzweck,
- Erfahrungen mit der verkehrlichen Situation (Zustand, Erwartung der tatsächlichen Fahrtzeit ...),
- Kenntnisse über Normal- und Alternativroute(n),
- Erfahrungen mit verkehrlichen Informationen im betreffenden Bereich (Verkehrsfunk, Wechselwegweisung, Navigationssystem, evtl. Streckenbeeinflussungsanlage).

Für die Rekrutierung dieser Personengruppe wird empfohlen, große Betriebe, von denen bekannt ist, dass Autofahrer diese über den betreffenden Netz-

abschnitt erreichen, anzusprechen und um Mithilfe bei der Probandenrekrutierung zu bitten. Die Ziehung von Stichproben aus Personalverzeichnissen sollte angestrebt werden. Die geeignete Zusammensetzung der Versuchsgruppe erfolgt dann unter Berücksichtigung der o. g. Einzelaspekte.

9.2.6 Übertragbarkeit von Ergebnissen

Nach Durchführung der Untersuchung und Auswertung der Ergebnisse liegen Daten vor, die für eine Abschätzung des Nutzens einer Netzbeeinflussungsanlage im Rahmen der Anlagenplanung geeignet sind. Hierzu werden die Befolgungsgrade, welche an Anlagen ermittelt wurden, die sich im laufenden Betrieb befinden, herangezogen.

Da jede Netzbeeinflussungsanlage jedoch spezifische Eigenschaften hat, ist vor der Anwendung der in der Stated-Response-Untersuchung erzielten Ergebnisse ein Nachweis der Gleichartigkeit der geplanten Anlage mit der hypothetisch untersuchten Anlage erforderlich. Anhand zweier Beispiele aus der Praxis können die Kriterien, die vermutlich für die Wirkung von Anlagen zur Netzbeeinflussung maßgebend sind, sehr gut abgelesen werden.

Beispiele:

Netzbeeinflussungsanlage Nürnberg/Schweinfurt

- additive Wechselwegweisung mit den BAB A 7, A 3, A 73 und A 70,
- Streckenlänge der Normalroute: > 50 km (Reisezeit: > 20 min),
- Alternativroute ist hinsichtlich Streckenlänge und Reisezeit mit der Normalroute vergleichbar,
- Verkehrsart: im Wesentlichen überregionaler Fernverkehr.

Netzbeeinflussungsanlage Neufahrn/Feldmoching/München-Nord

- substitutive Wechselwegweisung mit den BAB A 9, A 92 und A 99,
- Streckenlänge der Normalroute: < 15 km,
- Alternativroute um etwa 10 km länger als die Normalroute,
- Verkehrsart: im Wesentlichen ortskundig, örtlich und zeitlich sehr geballt. Zu Ferienzeiten/langen Wochenenden kann sich die Verkehrszusammensetzung komplett ändern.

Zur Reduzierung des Aufwandes für den Nachweis der Vergleichbarkeit von Anlagen auf ein praktisches Maß werden die folgenden relevanten Kriterien zur Klassifizierung von Netzbeeinflussungsanlagen vorgeschlagen:

- Art der Anlage (additive, substitutive, Textinformationen),
- Lage der Anlage (innerhalb vorhandener VBA/NBA/SBA),
- Größe der Netzmaschen, Anzahl der Entscheidungspunkte, Anzahl der Anschlussstellen,
- Umwegfaktor (Verhältnis der Streckenlänge von Alternativ- zu Normalroute),
- Typ des nachgeordneten Netzes bzw. der Streckentyp der Alternativroute (Leistungsfähigkeit),
- Art der ausgeschilderten Ziele (regional (Messe, Stadion, Flughafen, ...) oder überregional (Stuttgart, Nürnberg, ...)),
- Verkehrszusammensetzung am beeinflussten Querschnitt (Fahrziele, Fahrzeugarten).

Die Verwendungsmöglichkeit von Ergebnissen aus hypothetischen Befragungen liegt darin, diese zur Verifizierung von Befolungsgraden, die an bestehenden, vergleichbaren Anlagen ermittelt wurden, zu verwenden. Werden die drei Daten- und Informationsquellen „Befolungsgrade laufender Anlagen“, „Nutzenwerte aus hypothetischer Befragung“ und „Erfahrungswerte von Anlagenbetreibern“ zusammengeführt, können diese (nach der Überprüfung der Vergleichbarkeit der beurteilten Situationen) einer genaueren Vorausabschätzung zu erwartender Befolungsgrade und damit des Nutzens geplanter Netzbeeinflussungsanlagen dienen.

Der Datenbedarf zur Schätzung von Befolungsgraden im Rahmen der Planung einer Netzbeeinflussungsanlage/Anlage zur Wechselwegweisung ist in Bild 33 zusammenfassend schematisch dargestellt.

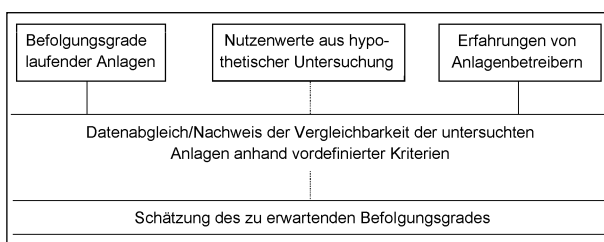


Bild 33: Datenquellen und Vorgehen zur Schätzung von Befolungsgraden im Rahmen der Planung einer Netzbeeinflussungsanlage

9.3 Schlussfolgerungen

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die vorliegende Arbeit einen weiteren Beitrag zur Ermittlung von Befolungsgraden leistet. Trotz der Komplexität der Aufgabe konnten Verfahren vorgestellt und beurteilt werden, die für die Bestimmung von Befolungsgraden sowohl für die Prognose des Nutzens einer geplanten Anlage als auch für die Analyse von Befolungsgraden einer Schaltung zur Wechselwegweisung geeignet sind. Es wurde deutlich, dass sowohl die bisher bekannten, aber auch neuere automatische Erhebungsverfahren (mobilfunk- bzw. satellitengestützt) sehr hohen Aufwands zur Untersuchungsdurchführung bedürfen, um zur Klärung der Frage nach „dem“ Befolungsgrad von Alternativroutenempfehlungen beitragen zu können.

Aus wissenschaftlicher Sicht ergibt sich der Nutzen dieser Arbeit v. a. aus der systematischen Darstellung individueller, situativer und verkehrlicher Faktoren, die einen Einfluss auf die Befolgung von Alternativroutenempfehlungen haben und in dieser Form bisher noch nicht vorlagen. Außerdem wurden Erhebungsverfahren zur Bestimmung von Befolungsgraden an NBA analysiert und systematisch dargestellt. Die Darstellung zeigt Vor- und Nachteile auf, schätzt deren zu erwartenden Erhebungsaufwand ab, gibt Hinweise auf die Probandengewinnung und bewertet die Eignung einzelner Erhebungsverfahren. Zudem werden Probleme thematisiert, die die Durchführung von Stichproben-Erhebungen betreffen.

Der Bericht enthält weiterhin eine neue Definition des Befolungsgrades, welche die Defizite bisheriger Definitionen aufhebt und für die weitere Verwendung allgemein empfohlen wird. Außerdem wird ein statistisches Testverfahren angegeben, dessen Anwendung bei Aufgaben des Nachweises von Anzeigen-Empfehlungen empfohlen wird.

Abschließend wird empfohlen, die in diesem Bericht vorgeschlagenen Verfahren im Rahmen einer Stated-Response-Untersuchung für eine entsprechende Fragestellung der verkehrlichen Praxis einzusetzen und somit deren analytisch und theoretisch festgestellte Eignung durch Praxistests zu ergänzen. Daran anschließen sollte sich ein Forschungsprojekt, das sich mit der Frage nach der Übertragbarkeit von Ergebnissen, die im Rahmen einer Stated-Response-Untersuchung ermittelt wurden, befasst. Darin sollten verschiedene Typen von Netzbeeinflussungsanlagen in Deutschland empirisch bezüglich der Befolungsgrade von Empfehlungen untersucht werden.

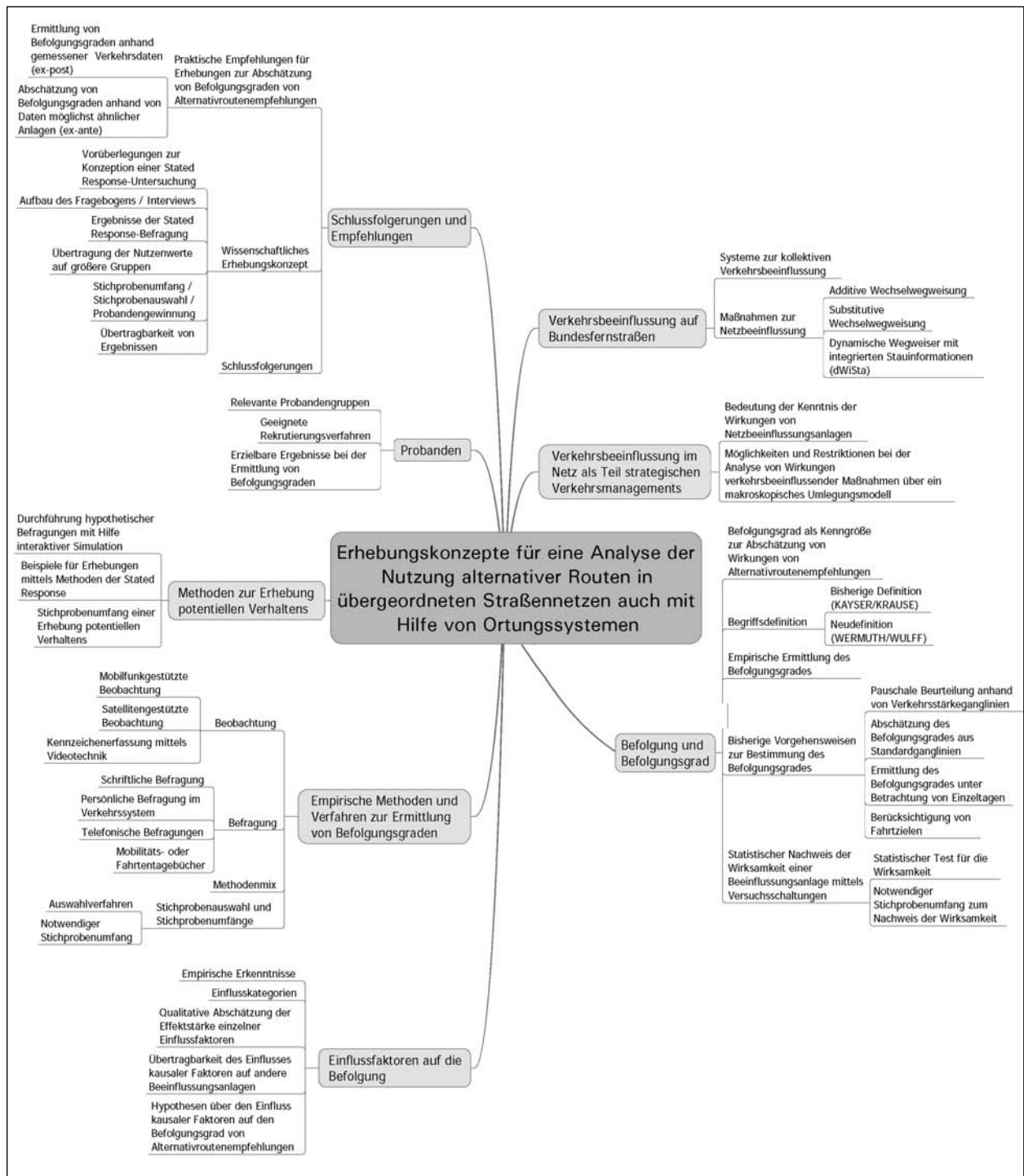


Bild 34: Erhebungskonzepte für eine Analyse der Nutzung alternativer Routen in übergeordneten Straßennetzen auch mit Hilfe von Ortungssystemen

10 Literatur

- [1] ALBRECHT, H., EVERTS, K., HEUSCH, H., BOESEFELDT, J. (1978): Bewertung einer zentralen Überwachung und Steuerung des Verkehrs durch Verkehrsstromführung mit Hilfe von Wechselwegweisern, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 25, Bonn, 1978
- [2] AXHAUSEN, K. W. (1993): Britische Panelstudien zum Verkehrsverhalten: eine Übersicht, Centre for Transport Studies, University of London, 1993
- [3] BECKMANN, K., BECKMANN, B., WEHMEIER, T. et al. (2000): Leitstrategien individueller und kollektiver Zielführung in verkehrstechnischen Steuerungsverfahren, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 815, Bonn, 2000
- [4] BOGENBERGER, K., HEUCKE, A., HASS, B. (2006): Nutzung von Verkehrsinformationssystemen, Internationales Verkehrswesen (58) 5/2006, S. 200 ff.
- [5] BOGERS, E., HOOGENDOORN, S. (2004): The impact of various uncertain information schemes on route choice, Proc. of the AEF conference, Strasbourg 2004, im Internet: <http://www.amici.tudelft.nl/publications/>, Abruf am 20.06.2006
- [6] BONSALL, P. W., FIRMIN, P. E., ANDERSON, M. E., PALMER, I. A., BALMFORTH, P. J. (1996): Validating VLADIMIR: Can the results of a route choice simulator be trusted?, Proc. 4th International Conference on Survey Methods in Transport, Steeple Aston, Oxford, pp.170-191, 1996
- [7] BORTZ, J. (1995): Forschungsmethoden und Evaluation, Springer-Verlag, Berlin, 1995
- [8] COCHRAN, W. G. (1972): Stichprobenverfahren, de Gruyter-Verlag, Berlin, New York, 1972
- [9] ERKE, H. (1980): Psychologische Untersuchung der Wirksamkeit von Wechselverkehrszeichenanlagen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 289, Bonn, 1980
- [10] EVERTS, K. (1978): Steuerungsmodell zur Verkehrsstromführung durch Wechselwegweisung sowie Bewertung einer zentralen Überwachung und Steuerung, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 251, Bonn, 1978
- [11] FGSV (1991): Empfehlungen für Verkehrserhebungen, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 1992
- [12] FGSV (1995): Hinweise zur Schätzung von Verkehrsbeziehungen mit Hilfe von Querschnittszählungen, FGSV-Nr. 365, Juni 1995
- [13] FGSV (1996): Hinweise zur Messung von Präferenzstrukturen mit Methoden der Stated Preference, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 1996
- [14] FGSV (2003): Hinweise zu Methoden computergestützter Erhebungen zum individuellen Verkehrsverhalten, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2003
- [15] FRIEBOLIN, L. (1990): Die Akzeptanz von Wechselverkehrszeichen, in: Verkehrsbeeinflussung, Kolloquium am 25. Januar 1990 in Bonn. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 1990, S. 42-47, 13 B (FGSV-Nr. 002/39)
- [16] HARTZ, B. (2005): Dynamische Wegweiser mit integrierten Stauinformationen (dWiSta), Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 924, Bonn, 2005
- [17] HATO, E. et al. (1995): Influence of traffic information on drivers' route choice. Proceedings of the 7th World Conference on Transportation Research, Sydney, Australia, 1995, pp. 27-40
- [18] HOFFMANN, G., LEICHTER, K. (1999): Wirkungsweise und Einsatzkriterien von Wechseltextanzeigen, Schlussbericht zum FE-Projekt Nr. 03.300/1995 des BMVBW, Berlin, 1999
- [19] IVS (2000): Institut für Verkehr und Stadtbauwesen, TU Braunschweig: TeleTravel System – Kurzfassung der Forschungsergebnisse, Braunschweig, 2000
- [20] KAYSER, H. J., KRAUSE, S. (1986): Verkehrslenkungssystem Dernbacher Dreieck und Autobahnkreuz Koblenz – Überprüfung und Bewertung, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 491, Bonn, 1986

- [21] KAYSER, H. J., DERSE, K.-H., KLEIN-HEßLING, M. (1991): Die Integration des Schwerverkehrs in Steuerungsmodelle von Verkehrsbeeinflussungsanlagen, *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 613, Bonn, 1991
- [22] LISTL, G. (2005): Genauigkeit von GPS-Empfängern zur Positions- und Geschwindigkeitsermittlung, *Straßenverkehrstechnik* 10/2005, S. 526 ff.
- [23] OVID (2005): OVID – Stärkung der SelbstOrganisationsfähigkeit im Verkehr durch I+K-gestützte Dienste, FE-Projekt des BMB+F, bearbeitet durch das Institut für Verkehrswesen der TH Karlsruhe, im Internet: <http://www.ifv.uni-karlsruhe.de/Ovid.html>
- [24] PEETA, S., RAMOS, J. L., PASUPATHY, R. (2000): Content of variable message signs and on-line driver behaviour, *Transportation Research Record*, 1725, pp. 102-108
- [25] PEETA, S., RAMOS, J. L. (2006): Driver response to variable message signs-based traffic information, *Intelligent Transport Systems*, IEE Proceedings, Vol. 153, No. 1, March 2006
- [26] RICHARDSON, A., AMPT, E., MEYBURG, A. (1996): Non-response-issue in household travel surveys, *Transportation Research Board Conference Proceedings*, 10, 79-114, National Academy Press, Washington D. C., 1996
- [27] SACHSE, T. (2000): Alternativroutensteuerung in Autobahnnetzen auf der Basis einer erweiterten Analyse des Verkehrsablaufs, *Veröffentlichungen des Fachgebiets Verkehrstechnik und Verkehrsplanung*, TU München, München, 2000
- [28] SURVIVE (2005): Simulationsgestützte Untersuchung der individuellen Reaktion auf Verkehrsinformationen mit variierenden Entscheidungsgrundlagen, FE-Projekt des BMB+F, im Internet: <http://www.mobev.de/seiten/> (Abruf am 10.06.2006)
- [29] SIEGENER, W., TRÄGER, K., FÄRBER, B., FÄRBER, B. (2005): Dynamische Verkehrsinformationstafeln, *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 916, Bonn, 2005
- [30] STEINAUER, B., OFFERMANN, F., WIENER, A. et al. (2001): Weiterentwicklung von Modellen zur Alternativroutensteuerung unter besonderer Berücksichtigung vermaschter Netze, *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 817, Bonn, 2001
- [31] STOPHER, P. R. (1996) Household travel surveys: Cutting-edge concepts for the next century, *Transportation Research Board Conference Proceedings*, 10, 11-26, National Academy Press, Washington D. C., 1996
- [32] TSAVACHIDIS, M. (2002): Modellierung und empirische Untersuchung des Routenwahlverhaltens in einem multivariaten Entscheidungskontext, *Veröffentlichungen des Fachgebiets Verkehrstechnik und Verkehrsplanung*, TU München, München, 2002
- [33] WERMUTH, M., GARBEN, M., JANECKE, J., WIRTH, R. (2001): TTS TeleTravel System – Telematiksystem zur automatischen Erfassung des Verkehrsverhaltens, *Schlussbericht zum Forschungsprojekt*, Braunschweig, 2001
- [34] WERMUTH, M., SOMMER, C., WULFF, S. (2006): Erhebung der individuellen Routenwahl zur Weiterentwicklung von Umlegungsmodellen, *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen*, Heft V 136, Bremerhaven, 2006
- [35] ZUMKELLER, D., CHLOND, B., LIPPS, O. (1998): Das Mobilitäts-Panel (MOP) – Konzept und Realisierung einer bundesweiten Längsschnittbeobachtung. 9. DVWG-Workshop über Verkehrsstatistik, Reihe B 217, 1998

Weitere, im Text nicht gesondert zitierte Literaturstellen

- ALBRECHT, H., SCHNEIDER, H.-W. (1976): Verkehrsbeeinflussung durch Wechselverkehrszeichen, *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 206, Bonn, 1976
- BECKMANN, K., SERWILL, D., WEHMEIER, T. (2001): Untersuchungen zum Zusammenwirken individueller und kollektiver Zielführungssysteme, in: *Stadt – Region – Land*, Nr. 70, Schriftenreihe des Inst. für Stadtbauwesen und Stadtverkehr, RWTH Aachen, Aachen, 2001
- BECKMANN, K., AXHAUSEN, K., FRIEDRICH, B., KLEIN, H. (2002): MOBIPLAN – Eigene Mobi-

- lität verstehen und planen – Langfristige Entscheidungen und ihre Wirkung auf die Alltagsmobilität, Schlussbericht zum Forschungsprojekt, Aachen, 2002
- BEN-AKIVA, M., DE PALMA, A., KAYSI, I. (1991): Dynamic network models and driver information systems, *Transportation Research A*, 25A (5), pp. 251-266
- BONSALL, P., PICKUP, L., STATHOPOULOS, A. (1991): Measuring behavioral responses to road transport informatics, in: *Advanced Telematics in Road Transport*, 1457-1487, Elsevier, Amsterdam, 1991
- BONSALL, P. (1992): The influence of route guidance advice on route choice in urban networks, *Transportation* 19, Issue Number 1, pp. 1-23
- BONSALL, P. W. (2004): Traveller Behavior: Decision-making in an Unpredictable World, *Journal of Intelligent Transportation Systems* 8, pp. 45-60, 2004
- BOVY, P., BRADLEY, M. (1985): Route choice analyzed with stated preference approaches, *Transportation Research Record* 1037, pp. 11-20, 1985
- Bundesministerium für Verkehr, Abt. Straßenbau (Hrsg.) (1997): *RWVA – Richtlinien für Wechselverkehrszeichenanlagen an Bundesfernstraßen*, Verkehrsblatt-Verlag, Dortmund, 1997
- Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (2003): *Kollektive Verkehrsbeeinflussungsanlagen auf Bundesfernstraßen – Stand der Entwicklung und Zukunftsperspektiven*, Publikation des BMVBW, im Internet: <http://www.bmwbw.de/Anlage15523/Kollektive-Verkehrs-beeinflussungsanlagen-auf-Bundesfernstraßen-Stand-Maerz-2003.pdf>, Abruf am 09.11.2005
- EAVES (1996): *Evaluation and Assessment of Variable European Sign Systems – Final Report*, Projekt V2020/D14 im Forschungsprogramm DRIVE II, Brüssel, 1996
- EVERTS, K., ZACKOR, H. (1976): *Untersuchung von Steuerungsmodellen zur Verkehrsstromführung mit Hilfe von Wechselwegweisern*, *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 199, Bonn, 1976
- EVERTS, K., THEIS, T. (1985): *Empirische Untersuchung der durch Alternativroutenführung verlagerbaren Verkehrsanteile in Abhängigkeit vom überwiegenden Fahrtzweck*, *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 447, Bonn, 1985
- GARBEN, M., JANECKE, J., WERMUTH, M. (1999): *TeleTravel System TTS – Telematiksystem zur automatischen Erfassung des Verkehrsverhaltens*, in: *Heureka 99 – Optimierung in Verkehr und Transport*, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 1999
- GSTALTER, H. (1990): *A behavior and interaction study for assessing safety impacts of a new electronic car equipment*. ICTCT-workshop, Krakau, 1990
- JACKSON, P. G. (1994): *Behavioural responses to dynamic route guidance (DRG) systems*, Paper presented at the PICT International Doctoral Conference, 28th-30th March, 1994. im Internet: www.tongji.edu.cn/~yangdy/its6.htm, Abruf am 30.11.2005
- JOEPPEN, W., REICHEL, P. (1981): *Entwicklung eines Steuerungsverfahrens zur Ableitung von Fahrzeugkollektiven der Bundesautobahn A 3*, *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 329, Bonn, 1981
- JONES, P., BRADLEY, M. (2006): *Stated Preference Surveys: An Assessment*, in: STOPHER, P., STECHER, C. (Editors) (2006): *Travel Survey Methods: Quality and Future Directions*, 2006, Elsevier Ltd., pp. 347 ff. and following
- KÄMPF, K., KELLER, H. (2001): *Wirkungspotenziale der Verkehrstelematik zur Verbesserung der Verkehrsinfrastruktur- und Verkehrsmittelnutzung*, FE 96.584/1999 des BMVBW, Schlussbericht zum Forschungsprojekt, Basel, 2001
- KHATTAK, A. et al. (1999): *Does travel information influence commuter and non-commuter behavior? Results from the San Francisco Bay area TravInfo project*. *Transportation Research Record* 1694, pp. 48-58
- KOHLLEN, R. (2003): *Routenidentifikation in Verkehrsnetzen auf der Grundlage unscharfer Or-*

- tungsinformationen (GSM), Schriftenreihe des Institut für Verkehr und Stadtbauwesen, Technische Universität Braunschweig, Shaker-Verlag, Aachen, 2003
- KRUX, W., WIENERT, A. (1997): Aktualisierung der Verkehrslenkungsanlage Dernbach/Koblenz, Straßenverkehrstechnik, Heft 6 (1997), S. 280 ff.
- OECD (2001): Influencing Road Travel Demand – You can't reach Kyoto by car, Chapter 4 – Traveler Information, Expert Group on Influencing Road Traffic Demand, Working Report, Paris, 2001
- PEIRCE, S., LAPPIN, J. (2005): Why don't more people use advanced traveler information? Evidence from the Seattle area. Originally presented at: Transportation Research Board 83rd Annual Meeting, Washington, DC, January 2004, updated version revised May 2005, im Internet: http://www.itsdocs.fhwa.dot.gov/JPODOCS/REPTS_TE/14004.htm
- PENALVO, E., LUCIETTI, L., GROßMANN, S., BOHLINGER, M. et al. (2004): Secondary road network traffic management strategies–handbook for data collection, communication an organization (SENSOR) Anwenderhandbuch, September 2004, erhältlich über ptv AG im Internet: www.ptv.de/sensor, Abruf am 22.11.2005
- SCHÖNFELDER, S., SAMAGA, U. (2003): Where do you want to go today? – More observations on daily mobility, Conference Paper, 3rd Swiss Transport Research Conference, Monte Verità/Ascona, March 19-21, 2003, im Internet: http://e-collection.ethbib.ethz.ch/ecol-pool/inkonf/inkonf_172.pdf
- United State Department of transportation (2005): Commuter Choice Primer – An Employee's Guide to Implementing Effective Commuter Choice Programs, Report No. 13669 for ITS Joint Program Office; Federal Highway Administration, 2005
- WIDLERT, S. (1998) Stated Preference Studies: The design affects the results. In: J. de DIOS ORTUZAR, D. HENSHER und S. JARA-DIAZ (Hrsg.): Travel Behaviour Research: Updating the State of Play, 105-121, Elsevier, Oxford
- YIM, Y. B., MILLER, M. A. (2000): Evaluation of the TravInfo Field Operational Test. California PATH Program, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley
- ZACKOR, H., BALZ, W., PISCHNER, T. (1985): Quantifizierung der Wirkungskomponenten von Verkehrsbeeinflussungssystemen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 434, Bonn, 1985

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2003

- V 100: Verkehrsqualität unterschiedlicher Verkehrsteilnehmerarten an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage
Brilon, Miltner € 17,00
- V 101: Straßenverkehrszählung 2000 – Ergebnisse
Lensing € 13,50
- V 102: Vernetzung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen
Kniß € 12,50
- V 103: Bemessung von Radverkehrsanlagen unter verkehrstechnischen Gesichtspunkten
Falkenberg, Blase, Bonfranchi, Cossè, Draeger, Kautzsch, Stapf, Zimmermann € 11,00
- V 104: Standortentwicklung an Verkehrsknotenpunkten – Randbedingungen und Wirkungen
Beckmann, Wulfhorst, Eckers, Klönne, Wehmeier, Baier, Peter, Warnecke € 17,00
- V 105: Sicherheitsaudits für Straßen international
Brühning, Löhe € 12,00
- V 106: Eignung von Fahrzeug-Rückhaltesystemen gemäß den Anforderungen nach DIN EN 1317
Ellmers, Balzer-Hebborn, Fleisch, Friedrich, Keppler, Lukas, Schulte, Seliger € 15,50
- V 107: Auswirkungen von Standstreifenumnutzungen auf den Straßenbetriebsdienst
Moritz, Wirtz € 12,50
- V 108: Verkehrsqualität auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen
Baier, Kathmann, Baier, Schäfer € 14,00
- V 109: Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf auf b2+1-Strecken mit allgemeinem Verkehr
Weber, Löhe € 13,00

2004

- V 110: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2001 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Laffont, Nierhoff, Schmidt, Kathmann € 22,00
- V 113: Car-Sharing in kleinen und mittleren Gemeinden
Schweig, Keuchel, Kleine-Wiskott, Hermes, van Acken € 15,00
- V 114: Bestandsaufnahme und Möglichkeiten der Weiterentwicklung von Car-Sharing
Loose, Mohr, Nobis, Holm, Bake € 20,00
- V 115: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2002 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Kathmann, Laffont, Nierhoff € 24,50
- V 116: Standardisierung der Schnittstellen von Lichtsignalanlagen – Zentralrechner/Knotenpunktgerät und Zentralrechner/Ingenieurarbeitsplatz
Kroen, Klod, Sorgenfrei € 15,00
- V 117: Standorte für Grünbrücken – Ermittlung konfliktreicher Streckenabschnitte gegenüber großräumigen Wanderungen jagdbarer Säugetiere
Surkus, Tegethof € 13,50

- V 118: Einsatz neuer Methoden zur Sicherung von Arbeitsstellen kürzerer Dauer
Steinauer, Maier, Kemper, Baur, Meyer € 14,50

2005

- V 111: Autobahnverzeichnis 2004
Kühnen € 21,50
- V 119: Alternative Methoden zur Überwachung der Parkdauer sowie zur Zahlung der Parkgebühren
Boltze, Schäfer, Wohlfarth € 17,00
- V 120: Fahrleistungserhebung 2002 – Inländerfahrleistung
Hautzinger, Stock, Mayer, Schmidt, Heidemann € 17,50
- V 121: Fahrleistungserhebung 2002 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko
Hautzinger, Stock, Schmidt € 12,50
- V 122: Untersuchungen zu Fremdstoffbelastungen im Straßenseitenraum
Beer, Herpetz, Moritz, Peters, Saltzmann-Koschke, Tegethof, Wirtz € 18,50
- V 123: Straßenverkehrszählung 2000: Methodik
Lensing € 15,50
- V 124: Verbesserung der Radverkehrsführung an Knoten
Angenendt, Blase, Klöckner, Bonfranchi-Simović, Bozkurt, Buchmann, Roeterink € 15,50
- V 125: PM₁₀-Emissionen an Außererststraßen – mit Zusatzuntersuchung zum Vergleich der PM₁₀-Konzentrationen aus Messungen an der A1 Hamburg und Ausbreitungsberechnungen
Düring, Böisinger, Lohmeyer € 17,00
- V 126: Anwendung von Sicherheitsaudits an Stadtstraßen
Baier, Heidemann, Klemps, Schäfer, Schuckließ € 16,50
- V 127: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2003
Fitschen, Koßmann € 24,50
- V 128: Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen – Sicherheitsüberprüfung vorhandener Lichtsignalanlagen und Anpassung der Steuerung an die heutige Verkehrssituation
Boltze, Reusswig € 17,00
- V 129: Modell zur Glättewarnung im Straßenwinterdienst
Badelt, Breitenstein € 13,50
- V 130: Fortschreibung der Emissionsdatenmatrix des MLuS 02
Steven € 12,00
- V 131: Ausbaustandard und Überholverhalten auf 2+1-Strecken
Friedrich, Dammann, Irzik € 14,50
- V 132: Vernetzung dynamischer Verkehrsbeeinflussungssysteme
Boltze, Breser € 15,50

2006

- V 133: Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offener Straßenbeläge
Hübelt, Schmid € 17,50
- V 134: Qualifizierung von Auditoren für das Sicherheitsaudit für Innerortsstraßen
Gerlach, Kesting, Lippert € 15,50
- V 135: Optimierung des Winterdienstes auf hoch belasteten Autobahnen
Cypra, Roos, Zimmermann € 17,00
- V 136: Erhebung der individuellen Routenwahl zur Weiterentwicklung von Umlegungsmodellen
Wermuth, Sommer, Wulff € 15,00

- V 137: PM_x-Belastungen an BAB
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,00
- V 138: Kontinuierliche Stickoxid (NO_x)- und Ozon (O₃)-Messwertaufnahme an zwei BAB mit unterschiedlichen Verkehrsparametern 2004
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,50
- V 139: Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Taumittelsprühanlagen
Wirtz, Moritz, Thesenvitz € 14,00
- V 140: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2004 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Koßmann € 15,50
- V 141: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 2003
Lensing € 15,00
- V 142: Sicherheitsbewertung von Maßnahmen zur Trennung des Gegenverkehrs in Arbeitsstellen
Fischer, Brannolte € 17,50
- V 143: Planung und Organisation von Arbeitsstellen kürzerer Dauer an Bundesautobahnen
Roos, Hess, Norkauer, Zimmermann, Zackor, Otto € 17,50
- V 144: Umsetzung der Neuerungen der StVO in die straßenverkehrsrechtliche und straßenbauliche Praxis
Baier, Peter-Dosch, Schäfer, Schiffer € 17,50
- V 145: Aktuelle Praxis der Parkraumbewirtschaftung in Deutschland
Baier, Klemp, Peter-Dosch € 15,50
- V 146: Prüfung von Sensoren für Glättemeldeanlagen
Badelt, Breitenstein, Fleisch, Häusler, Scheurl, Wendl € 18,50
- V 147: Luftschadstoffe an BAB 2005
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,00
- V 148: Berücksichtigung psychologischer Aspekte beim Entwurf von Landstraßen – Grundlagenstudie –
Becher, Baier, Steinauer, Scheuchenpflug, Krüger € 16,50
- V 149: Analyse und Bewertung neuer Forschungserkenntnisse zur Lichtsignalsteuerung
Boltze, Friedrich, Jentsch, Kittler, Lehnhoff, Reusswig € 18,50
- V 150: Energetische Verwertung von Grünabfällen aus dem Straßenbetriebsdienst
Rommeiß, Thrän, Schlägl, Daniel, Scholwin € 18,00

2007

- V 151: Städtischer Liefer- und Ladeverkehr – Analyse der kommunalen Praktiken zur Entwicklung eines Instrumentariums für die StVO
Böhl, Mause, Kloppe, Brückner € 16,50
- V 152: Schutzeinrichtungen am Fahrbahnrand kritischer Streckenabschnitte für Motorradfahrer
Gerlach, Oderwald € 15,50
- V 153: Standstreifenfreigabe – Sicherheitswirkung von Umnutzungsmaßnahmen
Lemke € 13,50
- V 154: Autobahnverzeichnis 2006
Kühnen € 22,00
- V 155: Umsetzung der Europäischen Umgebungslärmrichtlinie in Deutsches Recht
Bartolomaeus € 12,50
- V 156: Optimierung der Anfeuchtung von Tausalzen
Badelt, Seliger, Moritz, Scheurl, Häusler € 13,00
- V 157: Prüfung von Fahrzeugrückhaltesystemen an Straßen durch Anprallversuche gemäß DIN EN 1317
Klößner, Fleisch, Balzer-Hebborn € 14,50
- V 158: Zustandserfassung von Alleebäumen nach Straßenbaumaßnahmen
Wirtz € 13,50

- V 159: Luftschadstoffe an BAB 2006
Baum, Hasskelo, Siebertz, Weidner € 13,50
- V 160: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2005 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Koßmann € 25,50
- V 161: Quantifizierung staubedingter jährlicher Reisezeitverluste auf Bundesautobahnen
Listl, Otto, Zackor € 14,50
- V 162: Ausstattung von Anschlussstellen mit dynamischen Wegweisern mit integrierter Stauinformation – dWiSta
Grahl, Sander € 14,50
- V 163: Kriterien für die Einsatzbereiche von Grünen Wellen und verkehrsabhängigen Steuerungen
Brilon, Wietholt, Wu in Vorbereitung
- V 164: Straßenverkehrszählung 2005 – Ergebnisse
Kathmann, Ziegler, Thomas € 15,00

2008

- V 165: Ermittlung des Beitrages von Reifen-, Kupplungs-, Brems- und Fahrbahnabrieb an den PM₁₀-Emissionen von Straßen
Quass, John, Beyer, Lindermann, Kuhlbusch, Hirner, Sulkowski, Sulkowski, Hippler € 14,50
- V 166: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2006 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Koßmann € 26,00
- V 167: Schadstoffgehalte von Bankettmaterial – Bundesweite Datenauswertung
Kocher, Brose € 14,50
- V 168: Nutzen und Kosten nicht vollständiger Signalisierungen unter besonderer Beachtung der Verkehrssicherheit
Frost, Schulze € 15,50
- V 169: Erhebungskonzepte für eine Analyse der Nutzung von alternativen Routen in übergeordneten Straßennetzen
Wermuth, Wulff € 15,50

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
Internet: www.nw-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.