

# Erhebung der individuellen Routenwahl zur Weiterentwicklung von Umlegungsmodellen

Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 136

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.

# Erhebung der individuellen Routenwahl zur Weiterentwicklung von Umlegungsmodellen

von

Manfred Wermuth  
Carsten Sommer  
Sven Wulff

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

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 136

**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, Referat 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, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

#### **Impressum**

**Bericht zum Forschungsprojekt 01.158/2002/CGB des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung:**  
Erhebung der individuellen Routenwahl zur Weiterentwicklung von Umlegungsmodellen

Projektbetreuung  
Ingo Koßmann  
Christine Lotz

#### **Herausgeber**

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

#### **Redaktion**

Referat Öffentlichkeitsarbeit

#### **Druck und Verlag**

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

## Kurzfassung – Abstract

### Erhebung der individuellen Routenwahl zur Weiterentwicklung von Umlegungsmodellen

Ziel des FE-Projektes war es, auf der Grundlage von GSM-gestützt ermittelten und über persönliche Interviews überprüften, individuell gewählten Routen Hinweise für eine Weiterentwicklung von Routensuch- und Umlegungsmodellen zu erarbeiten. Darüber hinaus war zu untersuchen, inwiefern bei Umlegungen neben der Reisezeit zukünftig auch andere Kriterien berücksichtigt werden sollten.

Hierfür wurden die tatsächlich gefahrenen Kfz-Routen von insgesamt 74 Personen an 5 aufeinander folgenden Werktagen (Mo - Fr) vollständig erfasst. Für die Routenerfassung wurde das Handy der Untersuchungspersonen während einer Fahrt durchgehend geortet. Informationen zu Fahrtbeginn/-ende, Verkehrsmittel und Fahrtzweck wurden ebenfalls über Handy auf der Basis des weiterentwickelten Verfahrens TTS (Tele Travel System) erhoben. Die tatsächlich gefahrenen Routen wurden anschließend mit möglichen Alternativrouten (ermittelt auf der Basis des PTV-Programmsystems VISUM) verglichen. Für die Bewertung der Routen wurden mit den Untersuchungsteilnehmern computergestützte persönliche Interviews (u. a. unter Verwendung graphischer Darstellungen der Routen) geführt. Die Untersuchung wurde im Großraum Berlin durchgeführt.

Auswirkungen auf die Routenwahl infolge Kenntnis des Verkehrsnetzes wurden bei heimgebundenen Fahrten bis zu einer Länge von 9 km nachgewiesen; es wurden Routen gewählt, die im Vergleich zu nicht heimgebundenen Fahrten einen um 5 bis 10 % größeren Längenanteil an Streckenelementen untergeordneter Straßenkategorien aufwiesen. Die Reisezeit wurde als entscheidendes Motiv für die Routenwahl bei 64 % aller Fahrten mit einer Pflichtaktivität, 62 % aller Fahrten mit einer Gelegenheitsaktivität und 57 % aller Fahrten mit einer Freizeitaktivität als Zielzweck angegeben. Neben der Reisezeit wurde durchschnittlich ein weiteres Motiv für die Routenwahl benannt. Bei nicht durch die Reisezeit motivierten Routen war zu 41 % das Motiv Reiseweite.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen eine auffällige Bedeutung „weicher“ Motive zur Routenwahl

(Erlebnis, Ausprobieren/Zufall, Erfahrung). Die Definition dieser Motive sowie die Möglichkeiten für deren Integration in ein Umlegungsmodell sollten zukünftig vertieft werden.

Auswertungen zu Fehleinschätzungen von Reisezeit und Reiseweite zeigten, dass die Reisezeit von den Probanden bei 54 % aller Fahrten unterschätzt und die Länge einer Fahrt bei 63 % aller Fahrten überschätzt wurde.

Der Originalbericht enthält als Anlagen das Kartenfenster – CAPI-Interview (Anl. 1), die Kurzanleitung „Sprachgestützter Fragebogen“ (Anl. 2), Formular einer Einverständniserklärung zur Ortung (Anl. 3), Verschätzung der Reisezeit und der Reiseweite (Anl. 4 und 5) sowie Beispiele zur Berechnung der Übereinstimmungsgrade von Routen (Anl. 6). Auf die Wiedergabe dieser Anlagen wurde in der vorliegenden Veröffentlichung verzichtet. Sie liegen bei der Bundesanstalt für Straßenwesen vor und sind dort einsehbar. Verweise auf diese Anlagen im Berichtstext wurden zur Information des Lesers beibehalten.

### Enquiry into individual route selection for the further development of apportionment models

The objective of the R&D project was to work out references for a further development of route searching and apportionment models based on individually selected routes found through GSM support and tested through personal interviews. Moreover, we wanted to examine how far other criteria should be taken into consideration in the case of apportionment, apart from travelling time.

The vehicular routes actually driven on by 74 persons on five consecutive working days (Monday to Friday) were fully compiled for this purpose. The mobile phone of the test person was continuously located during a journey for route compilation. Information on the start and end of the journey, means of transport and purpose of the journey were also found out using the mobile phone on the basis of the further developed process TTS (Tele Travel System). The routes actually driven on were then compared to possible alternative routes (determined on the basis of the PTV program system VISUM). Computer assisted personal interviews were conducted with the test

participants for the evaluation of the routes (using graphic representations of the routes, amongst other things). The examination was conducted in Berlin and its suburbs.

Effects on the selection of routes due to knowledge of the traffic network were proven in homebound journeys up to a distance of 9km; routes were selected that indicated a proportion of distance that was 5 to 10% larger than routes of subordinate road categories compared to journeys that were not homebound. The travelling time was given as the decisive motive for route selection in 64% of all obligatory journeys, 62% in occasional journeys and 57% in journeys carried out for leisure purposes. Apart from the travelling time, on average, a further motive for route selection was given. In routes that were not motivated by travelling time, the distance travelled was the motive in 41% of the cases.

The results of the examination show a conspicuous significance for “soft” motives for route selection (experience, trying out/coincidence). The definition of these motives as well as the possibilities for their integration into an apportionment model will be consolidated in future.

Evaluations on false estimates of travel time and travelling distance showed that the travelling time was underestimated by the test persons in 54% of all journeys and the distance of journey was overestimated in 63% of all journeys.

The original report includes the following as appendices: the Kartenfenster – CAPI interview (Appendix 1), the brief reference guide “Language assisted questionnaire” (Appendix 2), form for a declaration of consent for locating (Appendix 3), incorrect estimates of the travel time and travelling distance (Appendices 4 and 5) as well as examples on the calculation of the degree of accordance of routes (Appendix 6). The reproduction of these appendices is rejected in the publication in question. They are available at the Federal Highway Research Institute and can be viewed there. References to these appendices have been maintained in the text of the report for the information of the reader.

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	7	4.3	Versuchsablauf .....	33
1.1	Problemstellung .....	7	4.3.1	Einrichtung der Teilnehmer .....	33
1.2	Ziel des Forschungsprojektes .....	8	4.3.2	Technisches System „RouteTracer“ .....	34
1.3	Gliederung des Schlussberichts .....	8	4.3.3	GPS-Routenerfassung .....	36
<b>2</b>	<b>Einflussgrößen und Modelle der Routenwahl</b> .....	9	4.4	Erfahrungen und Erkenntnisse .....	36
2.1	Einflussgrößen der Routenwahl .....	9	4.4.1	Interview zur Erhebung der Motive zur Routenwahl .....	36
2.1.1	Wahrnehmung und Informations- verarbeitung .....	9	4.4.2	Anforderungen an die Interviewer .....	36
2.1.2	Entscheidungskriterien/Motive .....	11	4.4.3	Rekrutierung .....	36
2.2	Modelle der Routenwahl und Umlegung .....	12	4.4.4	Organisation und Betreuung .....	36
2.2.1	Grundprinzip .....	12	4.4.5	Technisches System „Route Tracer“ .....	37
2.2.2	Modelltypen .....	13	<b>5</b>	<b>Ergebnisse der Untersuchung</b> .....	37
2.3	Programmsystem VISUM .....	15	5.1	Ziele und Rahmenbedingungen .....	37
2.3.1	Sukzessivverfahren .....	15	5.2	Datenbasis und Mengengerüst .....	38
2.3.2	Gleichgewichtsverfahren .....	16	5.2.1	Routen-Datensatz .....	38
2.3.3	Lernverfahren .....	18	5.2.2	CAPI-Daten .....	39
<b>3</b>	<b>Untersuchungsmethoden</b> .....	18	5.2.3	Probanden .....	39
3.1	Überblick über das Untersuchungs- konzept .....	18	5.2.4	Routen .....	39
3.2	Forschungsleitende Hypothesen .....	19	5.3	Datenaufbereitung und Plausibilitätsprüfung .....	40
3.3	Komponenten der Untersuchung .....	21	5.3.1	Überprüfung der Wegedaten und Ergänzung fehlender Datensätze .....	40
3.3.1	Erhebung des Verkehrsverhaltens inklusive des Routenwahlverhaltens ...	21	5.3.2	Korrektur fehlender Angaben zur Routenübereinstimmung .....	40
3.3.2	Verfahren der Ortung und Routen- identifikation (GSM-Route) .....	22	5.3.3	Ermittlung des Routen-Typs .....	41
3.3.3	Berechnung der Modellroute .....	23	5.3.4	Mehrfach absolvierte Routen .....	41
3.3.4	Interview zur Erhebung der Motive zur Routenwahl .....	24	5.4	Auswertung der Merkmale .....	42
<b>4</b>	<b>Untersuchungsdurchführung</b> .....	28	5.4.1	Fahrtzwecke .....	42
4.1	Vorbereitung .....	28	5.4.2	Identische Routen .....	42
4.1.1	Auswahl des Untersuchungs- gebietes .....	28	5.4.3	Motive der Routenwahl .....	43
4.1.2	Pretest des Erhebungssystems .....	29	5.4.4	Abweichungen von Routine- Routen .....	47
4.1.3	Schulung der Interviewer .....	30	5.4.5	Nutzung Navigationssystem/ Routenplaner .....	48
4.2	Rekrutierung der Teilnehmer .....	31	5.4.6	Längenanteile der Streckentypen in den Modellrouten .....	48
4.2.1	Verfahren .....	31	5.4.7	Verschätzung der Reisezeit .....	49
4.2.2	Rekrutierungsorte .....	31	5.4.8	Verschätzung der Reiseweite .....	50
4.2.3	Verlauf .....	32	5.5	Untersuchung der forschungs- leitenden Hypothesen .....	51
4.2.4	Ergebnis .....	33			

5.5.1	Netzmodell	51
5.5.2	Motive der Routenwahl	51
5.5.3	Dynamische Komponente	52
5.5.4	Schätzfehler	52
5.5.5	Hinweise zur Weiterentwicklung von Routensuch- und Umlegungsmodellen	52
<b>6</b>	<b>Nachweis des Verfahrens zur Routenidentifikation</b>	<b>53</b>
6.1	Vorgehensweise	53
6.2	Methodische Randbedingungen	53
6.3	Datenbasis	54
6.4	Vergleich der GPS-Messfahrten mit GSM-Routen	55
6.4.1	Qualitativer Vergleich	55
6.4.2	Quantitativer Vergleich	55
6.5	VISUM-Routen	56
6.6	Vergleich der VISUM-Routen mit GSM-Routen	56
6.6.1	Qualitativer Vergleich	56
6.6.2	Quantitativer Vergleich	57
6.7	Vergleich der Reiseweiten von GSM-Routen mit tatsächlichen Reiseweiten	58
6.8	Beurteilung des Verfahrens	59
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>59</b>
<b>8</b>	<b>Literatur</b>	<b>61</b>

# 1 Einführung

## 1.1 Problemstellung

Die Ermittlung von Verkehrsbelastungen ist ein wichtiger Arbeitsabschnitt bei Verkehrsanalysen. Die im motorisierten Individualverkehr (MIV) in der Praxis nahezu ausschließlich angewandten Verfahren zur Verkehrsmodellierung basieren meist auf einer Bestweg-Suche, die den Zusammenhang zwischen Verkehrsbelastung und Widerstand berücksichtigt (belastungsabhängige Verfahren). Bei den belastungsabhängigen Verfahren werden schrittweise kleine Anteile eines Quelle-Ziel-Verkehrstroms auf die jeweils zeit kürzeste Route in einem abstrahierten Verkehrsnetz (Netzmodell) umgelegt und nach jedem Schritt die Zeitwiderstände der Netzstrecken entsprechend ihren Belastungen erhöht. Somit steigt der Widerstand auf einer Strecke mit zunehmender Belastung und führt zur Verdrängung des Verkehrs auf distanzmäßig längere, jedoch infolge geringerer Belastung zeitmäßig kürzere Routen.

Dieses Verfahren simuliert somit ein perfektes „zeitökonomisches“ Verhalten unter der Bedingung, dass die Verkehrsteilnehmer nicht nur das gesamte Netz kennen, sondern auch vollständig über die aktuellen Zeitwiderstände auf allen Netzstrecken informiert sind und immer die zeit kürzeste Route wählen. In der Realität erfolgt die Routenwahl eines Verkehrsteilnehmers jedoch unter weit gehender Unkenntnis von großen Teilen des Netzes und der Verkehrszustände auf den ihm bekannten Strecken und Knoten und somit auch unter weit gehender Unkenntnis der Zeitwiderstände. Die von allen Verkehrsteilnehmern aufgewendete Zeit ist somit in der Realität vermutlich weitaus höher als die mit dem belastungsabhängigen Verfahren ermittelte Zeitaufwandsminimale.

Ein Hauptgrund für die Verwendung des idealtypischen Modells der belastungsabhängigen Umliegung liegt darin begründet, dass individuelles Routenwahlverhalten bisher nur im Einzelfall mit sehr hohem Aufwand erfassbar war (durch eine zeitgleiche Verfolgung von Verkehrsteilnehmern). Mit den traditionell eingesetzten Befragungsmethoden können i. d. R. nur Quelle und Ziel eines Weges, nicht aber Informationen zur genutzten Fahrtroute erhoben werden. Eine retrospektive Befragung zum Routenwahlverhalten entfällt nicht nur aus Aufwandsgründen, sondern auch einfach deswegen, weil z. T. die befragten Personen sich nicht

mehr im Detail an ihre Fahrtroute erinnern können. Die Kenntnis über das Routenwahlverhalten wird aber zukünftig immer wichtiger, um Steuerungs- und Navigationssysteme in ihrer Effektivität und Akzeptanz beurteilen zu können.

Mit dem im Forschungsprojekt „TTS TeleTravel Services“ entwickelten Routenidentifikationsverfahren auf der Grundlage unscharfer (GSM-)Ortungsdaten ist es möglich, die Fahrtrouten von Verkehrsteilnehmern

- automatisch, d. h. ohne Mitwirken des Verkehrsteilnehmers,
- über einen längeren Zeitraum und
- mit verhältnismäßig geringem Erhebungsaufwand

für den Fern- und Regionalverkehr zu erfassen. Mit Hilfe der GSM-basierten Ortung können die individuellen Routen von Zielpersonen, die ein betriebsbereites Mobiltelefon mit sich führen, erfasst werden [WERMUTH, M. et al. (2003)].

Das Routenidentifikationsverfahren wurde im o. g. Projekt dazu eingesetzt, die von einem Staumelder gefahrene Route zu identifizieren, um hieraus auf den Ort der Störung und die vom Stau betroffenen Streckenabschnitte zu schließen. Ein Staumelder meldete dabei mit seinem Mobiltelefon Anfang und Ende eines Staus und durch weitere automatische Ortungen zwischen beiden Anrufen standen Ortungsinformationen zur Berechnung einer sehr wahrscheinlich gefahrenen Route zur Verfügung. D. h., das Verfahren ermittelte mehrheitlich „kurze“ Routen.

Durch die durchgeführten Feldtests konnte nachgewiesen werden, dass das Routenidentifikationsverfahren grundsätzlich geeignet ist, tatsächliche Routen zu identifizieren. Sowohl innerhalb Berlins als auch auf den Autobahnen und Bundesstraßen Brandenburgs konnten mit nur wenigen Ortungen die während der Staumeldung gefahrenen Routen auf der Basis des TMC-Netzes<sup>1</sup> bestimmt werden.

Parallel zur Routenidentifikation ist es möglich, mittels Mobiltelefons weitere Wegedaten zu erfassen. Dieses Verfahren der mobilfunkgestützten Erhe-

<sup>1</sup> TMC: Traffic Message Channel – Verkehrskanal

bung wurde im Projekt TeleTravel System entwickelt und dessen Funktionalität empirisch nachgewiesen [WERMUTH, M. et al. (2001/1); WERMUTH, M. (2001/2); SOMMER, C. (2002)].

Eine Kombination beider Verfahren – Routenidentifikation aufgrund GSM-Ortung und mobilfunk-gestützte Erhebung – wurde in diesem Projekt eingesetzt, um das individuelle Routenwahlverhalten von Verkehrsteilnehmern im MIV zu erfassen und gleichzeitig detaillierte Informationen zum Weg zu erhalten. Gekoppelt mit einem persönlichen Interview zu den Entscheidungskriterien bei der Wahl einer Route können die Ergebnisse für die im Folgenden genannten Ziele verwendet werden.

## 1.2 Ziel des Forschungsprojektes

Ziel des Projektes war es, auf Grundlage von erfassten Fahrtrouten sowie mittels persönlicher Interviews erhobenen Motiven, die bei der Wahl von Routen eine Rolle spielten, Hinweise für eine Weiterentwicklung von Umlegungsmodellen zu erarbeiten.

Zu diesem Zweck wurde ein mehrwöchiger Feldversuch mit zufällig ausgewählten Untersuchungsteilnehmern durchgeführt. Erfasst wurden alle Arten des werktäglichen Verkehrs. Der Freizeitverkehr am Wochenende blieb aus forschungsökonomischen Gründen bewusst unberücksichtigt.

Die Identifikation der Routen erfolgte in diesem Projekt erstmalig auf Grundlage eines neuartigen Verfahrens auf Basis von GSM-Ortungsdaten. Die Eignung des eingesetzten Verfahrens zur Routenidentifikation sowie die Qualität der Berechnungsergebnisse werden in diesem Bericht beurteilt.

Jede erfasste Quelle-Ziel-Relation wurde zu Vergleichszwecken parallel auch mit Hilfe einer konventionellen Modellrechnung geschätzt. Dazu wurde das Programmsystem VISUM der PTV AG, Karlsruhe, verwendet, wobei die Qualität von dessen Routenberechnungsalgorithmen nicht in Frage stand.

Als wesentlich neuer Beitrag zur Weiterentwicklung der Routenwahlmodelle kann die Berücksichtigung subjektiver Kriterien auf die Routenwahl angesehen werden. Neben den messbaren Größen (z. B. Reisedauer und Reisedauer, Geschwindigkeiten) sind besonders individuelle Kenntnisse, Gewohnheiten und Präferenzen (u. a. Kenntnisstand über das

Netz und dessen Belastungszustand, Übersichtlichkeit und Orientierung an Knotenpunkten, Anregung der Strecke bzw. der Umgebung) für die Entscheidung maßgebend. Solche subjektiven Entscheidungskriterien wurden im Rahmen dieses Projektes empirisch erfasst und deren Bedeutung für die individuelle Routenwahl ermittelt.

Durch die Erfassung der Routen und der Entscheidungskriterien für deren Wahl wird es möglich, die Wirkungen verkehrslenkender Maßnahmen (Straßenbenutzungsgebühren, Verkehrsinformationen usw.) in Bezug auf den einzelnen Verkehrsteilnehmer zu schätzen und zu beurteilen. Die Ergebnisse solcher Wirkungsanalysen sind die Grundlage für die Beurteilung von Widerstandskomponenten (Zeit, Kosten etc.). Damit wird die Abbildungsschärfe der Routenwahlmodelle erhöht und somit ein Beitrag zur Berücksichtigung der Erfordernisse einer effizienten und nachhaltigen Ausnutzung der vorhandenen Verkehrsinfrastruktur geleistet.

## 1.3 Gliederung des Schlussberichts

Der vorliegende Schlussbericht zum Forschungsprojekt gliedert sich wie folgt:

In Kapitel 2 wird zunächst eine theoretische Betrachtung der Entscheidungsgrößen bei der Routenwahl anhand von Erkenntnissen aus der Literatur vorgenommen. Daran anschließend wird ein Überblick über bekannte Modelltypen gegeben. Hierin werden die theoretischen Ansätze und die Abläufe der verschiedenen Modelltypen dargestellt. Da in diesem Projekt das Programmsystem VISUM zur Ermittlung von Routen verwendet wird, sind die darin verfügbaren Umlegungsverfahren und deren Möglichkeiten beschrieben.

Der Beschreibung der für diese Untersuchung gewählten Methodik ist Kapitel 3 gewidmet. Es enthält Informationen über das Untersuchungskonzept sowie die einzelnen Komponenten der Untersuchung (Verfahren der Routenidentifikation, CAPI-Interview). Außerdem werden forschungsleitende Hypothesen formuliert, die durch die Ergebnisse des durchgeführten Feldversuchs überprüft werden.

Kapitel 4 beschreibt die Untersuchungsdurchführung hinsichtlich der Maßnahmen zur Vorbereitung des Feldversuchs, der Rekrutierung von Versuchsteilnehmern, den Versuchsablauf (Randbedingungen für das technische System zur Berechnung von Routen auf Basis von GSM-Ortungsda-

ten) sowie Erfahrungen und Erkenntnisse dieser Aktivitäten.

Der größte Teil des Schlussberichts beinhaltet die Auswertung der Versuchsergebnisse. Neben den Einzelauswertungen werden Schlussfolgerungen im Hinblick auf die im Kapitel 3 formulierten forschungsleitenden Hypothesen angestellt. Hauptaugenmerk liegt auf der Auswertung der individuellen Motive bei der Routenwahl von Pkw-Fahrern.

Das abschließende Kapitel 6 beschreibt die Ergebnisse des Nachweises des Verfahrens zur Routenidentifikation, das in diesem Projekt zur Berechnung von Routen verwendet werden sollte. Es liefert Aussagen, die sowohl aufgrund qualitativer Auswertungen (optischer Abgleich) als auch auf Grundlage erfasster Routendaten getroffen wurden. Untersucht wurde im Wesentlichen der Übereinstimmungsgrad zwischen tatsächlichen Routen und solchen, die mittels GSM-Routenidentifikation berechnet wurden. Der Parameter Reiseweite wurde gesondert untersucht.

## 2 Einflussgrößen und Modelle der Routenwahl

### 2.1 Einflussgrößen der Routenwahl

Der folgende Abschnitt liefert den theoretischen Hintergrund zu der Frage, welche Kriterien in welcher Intensität und Qualität die Wahl einer Route beeinflussen. Die Kenntnis über die Zusammenhänge zwischen Entscheidungskriterien und den Routenmerkmalen ist die Grundlage für eine modellhafte Abbildung des Routenwahlverhaltens. Die dargestellten Theorien beziehen sich auf verschiedene Projekte oder Befragungen, die sich mit diesem Thema befassten.

Zunächst wird beschrieben, wie ein Individuum eine Entscheidung (z. B. für eine Route) aufgrund eines Wahrnehmungs- und Informationsverarbeitungsprozesses herbeiführt. Im zweiten Abschnitt werden Ansätze zur Systematisierung der Entscheidungskriterien vorgestellt.

#### 2.1.1 Wahrnehmung und Informationsverarbeitung

Modelle der Routenwahl gehen häufig davon aus, dass ein Individuum in der Lage ist, auf Grundlage „vernünftigen“ (rationalen) Verhaltens unter allen Routenalternativen die für ihn „günstigste“ heraus-

zufinden. Außerdem wird allgemein angenommen, dass eine eindeutige Präferenzstruktur bezüglich der Eigenschaften des Verkehrsverhaltens vorhanden ist.

Bei der Routenwahl ist jedoch im besten Fall von einer begrenzten Rationalität auszugehen. Einen Ansatz zu deren Beschreibung hat KRELLE 1968 formuliert [KRELLE, W. (1968)]:

1. Der Entscheidende fixiert ein Anspruchsniveau, d. h., er stellt sich für eine geplante Fahrt ein bestimmtes Befriedigungsniveau vor, bei dessen Eintreten er zufrieden wäre.
2. Er versucht, Alternativen zu finden, deren Ergebnisse bei ihrer Realisierung befriedigend sind. Befriedigend ist eine Alternative dann, wenn sie mit dem Anspruchsniveau übereinstimmt oder es übersteigt.
3. Der Entscheidende realisiert die erste befriedigende Alternative, auf die er bei dem Suchprozess trifft.

Praxisrelevante Bedeutung kommt dieser Erkenntnis aber erst dann zu, wenn es möglich ist, fahrt- oder personentypische Bereiche zu bestimmen, innerhalb derer die Vorteile einer Alternative das gleiche Befriedigungsniveau ermöglichen wie eine andere Alternative. Die bei „objektiver“ Betrachtung als begrenzt erscheinende Rationalität stellt sich für ein Individuum jedoch aus seiner eigenen Sicht oftmals als durchaus rational dar.

#### Kognitive Landkarten

Entscheidungen über das Verkehrsverhalten fallen nicht allein auf Basis der objektiven Situation, sondern werden auch aufgrund subjektiver Einschätzungen gefällt, die entscheidend vom Informationsstand der Person geprägt werden. So fällt der Einzelne seine Entscheidungen unter mehr oder weniger stark eingeschränktem Kenntnisstand über das Angebot an Einrichtungen und Verkehrsgelegenheiten. Dies haben besonders Untersuchungen über kognitive Bilder von Straßen- und Landkarten, sog. „mental maps“, gezeigt [KÖHLER, U. et al. (2001)].

Aus verschiedenen Untersuchungen [u. a. DOWNS, R. et al. (1977); LYNCH, K. (1960)] geht hervor, dass Informationen in sog. kognitiven Landkarten nur sehr unvollständig, im Maßstab verzerrt und teilweise sogar völlig falsch aufgenommen werden. Kognitive Landkarten haben demnach

großen Einfluss auf Routenwahlentscheidungen, denn sie speisen den relevanten Pool an Entscheidungsoptionen bei der Routenwahl. Beispielsweise kann nur dann die Entscheidung getroffen werden, einen Stau zu umfahren, wenn die gespeicherte Kenntnis des Straßennetzes eine positive Bewertung der Abweichung von der üblichen Verhaltensroutine erlaubt. Zwischen Individuen bestehen große Unterschiede beim Verständnis und der Nutzung räumlicher Informationen, womit die unterschiedliche Neigung, räumlich variabel zu agieren, erklärt werden kann.

Kognitive Ansätze betonen den Einfluss von Motiven, Einstellungen und Werthaltung auf das Wissen. Hierzu hat REICHENBACH [REICHENBACH, E. (1979)] bereits einen Erklärungsansatz für die individuell unterschiedlichen Abbilder der Realität unternommen. Eine neuere Betrachtung stammt von BUSSIEK [BUSSIEK, T. (1998)].

Als Motiv wird ein verborgener Zustand bezeichnet, der im Falle der Aktivierung das Verhalten in bestimmter Stärke und Richtung antreibt. Motive sind also Eigenschaften, die erst aktiviert werden müssen, ehe sie sich auswirken können [TROMMSDORF, V. (1993)]. Bei Routenwahlentscheidungen kann jedoch nicht notwendigerweise von einer stets hohen Bewusstheit der Motivation ausgegangen werden. Diese ist auch abhängig davon, ob es sich um gewohnheitsmäßiges (habituelles) oder spontanes (impulsives) Verhalten handelt [BUSSIEK, T. (1998)].

Einstellungen sind mit Kognitionen verknüpft und spiegeln den Zustand der relativ dauerhaften Bereitschaft wider, sich in einer entsprechenden Situation einem Gegenstand oder einer Idee gegenüber annehmend oder ablehnend zu verhalten. Einstellungen können sich durch Lernprozesse trotz ihrer relativen Konstanz auch in wesentlichen Zügen ändern [u. a. GOLD, J. R. (1980)].

Als Wert oder Werthaltung wird die Bereitschaft bezeichnet, sich einer ganzen Klasse von Einstellungsobjekten gegenüber annehmend oder ablehnend zu verhalten. Die Werthaltung stellt damit ein konsistentes System von Einstellungen mit normativer Verbindlichkeit dar [TROMMSDORF, V. (1993)].

#### Entstehung einer Route

Bei regelmäßigen Wegen (z. B. dem gewohnten Weg zur Arbeit) sind der Informationsbedarf und die Komplexität der Entscheidung eher gering.

Demgegenüber sind viele Aktivitäten hinsichtlich ihrer Planbarkeit von einmaliger Natur. Für jede Situation ist ein neuer Informationsbedarf gegeben. Die Komplexität der Entscheidung ist dabei hoch [BUSSIEK, T. (1998)].

Handelt es sich um einen neuen Handlungskontext, müssen drei Aufgaben gelöst werden:

1. In der Überblicks- oder Planungsphase erfolgt eine grobe qualitative Abschätzung der Route unter Hinzuziehung von „Weltwissen“. Dieser Vorgang wird als qualitatives Schließen bezeichnet. „Weltwissen“ beinhaltet Fakten, die gelernt oder erfahren wurden. Dazu gehört z. B. Wissen über die durchschnittliche Geschwindigkeit eines Autos, geographisches Allgemeinwissen und ortsspezifisches geographisches Wissen. Die zugehörige „mental map“ entspricht einer Übersichtskarte, wobei die topologischen Eigenschaften durch Zusatzwissen ergänzt werden.
2. In der zweiten Phase wird eine Weisungsfolge erstellt. Zur Herstellung einer topologisch richtigen Reihenfolge der zu verwendenden Streckenelemente werden Hilfsmittel wie kognitive oder gedruckte Karten, Wissen um die kritischen Punkte entlang einer Route und Berücksichtigung von Einschränkungen wie Zeitkomponenten oder die Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln verwendet. Richtungen werden dann mit Hilfe von mehreren lokalen Zielangaben definiert. Aufgrund der selektiven Wahrnehmung eines Individuums enthält die „mental map“ nur die notwendigen Attribute der vorgesehenen Route oder deren Alternativen. Alle anderen Attribute treten in den Hintergrund [TIMPF, S. et al. (1997)].
3. Die dritte Phase dient dazu, Anweisungen auszuführen. In dieser Phase findet der Übergang zum Dreidimensionalen statt. Die ausgewählte Route wird aus der Perspektive des Verkehrsteilnehmers gesehen, der eine Routenbeschreibung nur an bestimmten Entscheidungspunkten benötigt [TIMPF, S. et al. (1997)].

Nach jeder Ortsveränderung des Verkehrsteilnehmers erhält der „Speicher“ neue Informationen, z. B. wie die Kreuzungen verbunden sind und wie lange es dauert, einen Knoten ausgehend von einem anderen zu erreichen. Die Fahrzeit ist dabei eine Funktion der zeitlichen Distanz und der jeweiligen Verkehrssituation zwischen den Knoten.

Diese Informationen können in der Zukunft benutzt werden. Jeder bisher erfolgreich verfolgte Weg liefert einen Plan, der in Zukunft zur Lösung einer Aufgabe eingesetzt werden kann [UNGER, H. (2002)].

### 2.1.2 Entscheidungskriterien/Motive

Die Entscheidung eines Menschen, einen Weg auf einer bestimmten Route zurückzulegen, wird von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Ein Weg ist immer auch mit einer Aktivität am Zielort verbunden. Ob und wie ein Weg zurückgelegt wird, hängt nach SCHOFER von folgenden Restriktionen ab [SCHOFER, J. et al. (1993)]:

- aktuelle räumliche Beschränkungen (z. B. Verteilung von Zielgelegenheiten im Raum, Qualität des Verkehrsnetzes),
- zeitliche Beschränkungen (z. B. Öffnungszeiten),
- persönliche Beschränkungen (z. B. Zeit- und Geldbudget, Verpflichtungen),
- persönliche Vorlieben, Normen, Lebensstile,
- dem situativen Kontext (z. B. Wochentag, Wetter) und
- der räumlichen Wahrnehmung.

Ein Pkw-Fahrer versucht, sein Ziel innerhalb einer vorgegebenen (und als akzeptabel eingestuft) Zeit bei gleichzeitig geringsten Kosten zu erreichen [BEN-AKIVA, M. et al. (1991)]. Kosten beinhalten sowohl monetäre Kosten, Kosten der Reisezeit und psychologische Kosten. Einige Verkehrsteilnehmer legen möglicherweise die Reisezeit als alleiniges Kriterium zugrunde, während andere hingegen auch andere Motive, wie z. B. das Erlebnis oder den Komfort, berücksichtigen, z. B. bei Freizeitfahrten [HAN, B. (2001)].

Wird eine Verhaltensentscheidung getroffen, kann man davon ausgehen, dass eine Person den Nutzen dieses Wegs maximieren will. Bei verhaltensorientierten Modellen der Routenwahl (z. B. Nutzenmaximierungsmodelle) werden zunächst die Eigenschaften der zur Verfügung stehenden Alternativen ermittelt und anschließend deren Nutzen für den Verkehrsteilnehmer („Konsumenten“) bestimmt. Während in der Konsumtheorie bei einem bestimmten Budget insbesondere Kosten und Preiselastizitäten entscheidungsrelevant sind, wurden Verkehrsverhaltensmodelle um qualitative Faktoren wie Zeit, Komfort, Zuverlässigkeit und Si-

cherheit ergänzt, da diese nicht als homogen vorausgesetzt werden können [BUSSIEK, T. (1998)].

Wie im Abschnitt 2.1.1 gezeigt wurde, werden (Routenwahl-)Entscheidungen aber aufgrund von Vorstellungen bzw. Kenntnissen, getroffen, die im Gegensatz zur Realität unvollständig und fehlerbehaftet sind. Die Verkehrsteilnehmer besitzen keine vollständige Information über die relevanten Gütereigenschaften und die Merkmalsausprägungen. Individuell abweichende Präferenzen und nicht beobachtbare subjektive Nutzendimensionen werden im Modell durch die Einbindung stochastischer Elemente simuliert.

SCHUSTER und KRAUSE haben drei Einflussgrößenkomplexe abgeleitet [SCHUSTER, G. et al. (1984)]:

- personenbezogene Einflussgrößen,
- sachsystembezogene Einflussgrößen (Netz- und Wegecharakteristika),
- situative Einflussgrößen des aktuellen Handlungszusammenhangs (Zielwahl, Fahrtzweck, Zeitbudget).

Die personenbezogenen Einflussgrößen stellen endogene („weiche“) und die sachsystembezogenen Einflussgrößen exogene („harte“) Faktoren dar. CONRAD systematisiert diese Komplexe wie in Bild 2-1 dargestellt [CONRAD, U. (1995)].

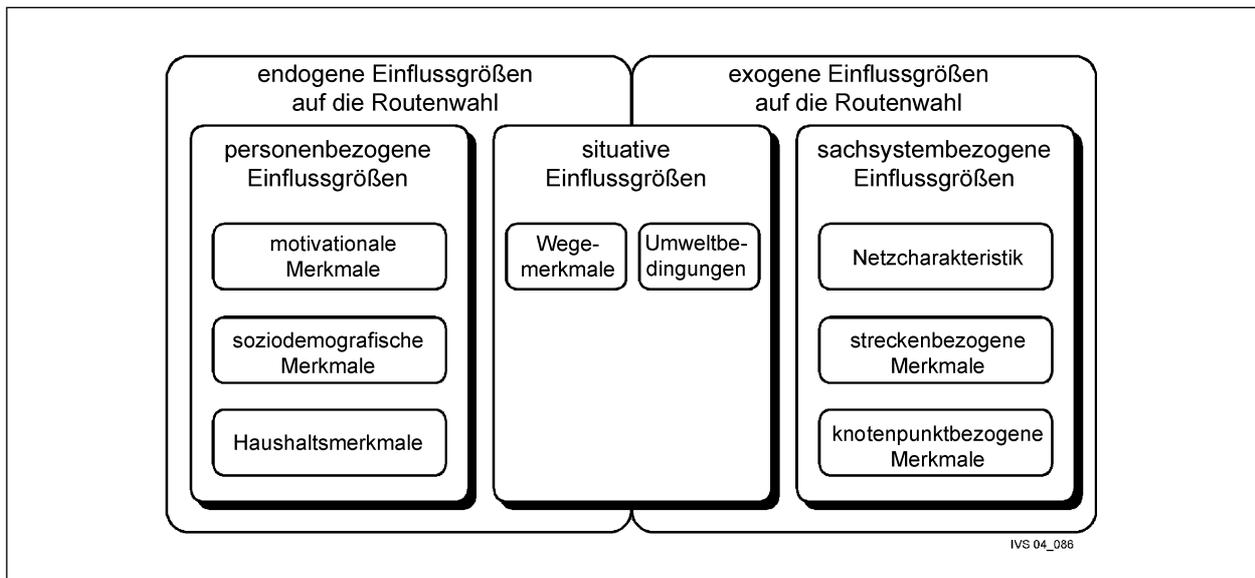
Die wichtigsten Entscheidungskriterien, die den Streckenwiderstand determinieren sind [BRAUN, J. et al. (1973)]:

- Fahrdauer,
- Weglänge,
- Reisegeschwindigkeit.

Darüber hinaus existieren weitere Entscheidungskriterien, die aber in der Praxis der Modellrechnung nur vereinzelt berücksichtigt werden. Außerdem werden mittels heute üblicher Algorithmen meistens nur einzelne der oben genannten Kriterien für die Ermittlung optimaler Routen herangezogen.

### Fazit

Die Routenwahl orientiert sich also am Verhaltensprinzip des maximalen subjektiv empfundenen Nutzens. Der „größte Nutzen“ ist ein Produkt aus monetären, Reisezeit- und psychologischen Kosten, wobei die Gewichtung der einzelnen Kriterien



**Bild 2-1:** Einflussgrößen auf die Routenwahl [nach CONRAD, U. (1995)]

je nach Person und Situation (Weg) unterschiedlich ist. Es scheint daher unumgänglich, die subjektiv empfundene Situation eines Verkehrsteilnehmers in Routenwahlmodellen zu berücksichtigen.

In der Realität legt sich ein Verkehrsteilnehmer oftmals bereits vor Antritt einer Fahrt auf eine Route fest. Das Routenwahlverhalten ist nach Art des Weges (Habitualisierung, vgl. S. 12) unterschiedlich. Außerdem spielt in einer Entscheidungssituation die Kognition eine gewichtige Rolle. „Netzerfahrene“ Verkehrsteilnehmer haben eine andere Kognition als „Neulinge“, da sie einen größeren Erfahrungsschatz aufweisen können. Hierzu gibt es jedoch keine quantitativen Aussagen in der bisherigen Forschung. Erste Hinweise sollen daher in diesem Projekt erarbeitet werden.

Entscheidungskriterien lassen sich in endogene („weiche“) Faktoren und exogene („harte“) Faktoren differenzieren. Je nach Fahrtzweck können unterschiedliche Faktoren eine Rolle spielen (z. B. bei Freizeitfahrten das Erlebnis/die Attraktivität der Strecke).

## 2.2 Modelle der Routenwahl und Umlegung

### 2.2.1 Grundprinzip

Nach der Ermittlung des Verkehrsaufkommens (Verkehrserzeugung), der Verkehrsverteilung und der Aufteilung der Fahrten auf die Verkehrsmittel (modal split) ist die Aufteilung des Verkehrs auf die

Routen eines Verkehrsnetzes und deren Aggregation auf die entsprechenden Netzelemente der letzte Schritt bei der makroskopischen Simulation der Verkehrsnachfrage.

Umlegungsverfahren teilen sich in zwei Schritte:

1. Routensuche (mit Ermittlung von Widerständen und möglichen Routen),
2. Routenbelastung (mit Routenauswahl und Belastung der Routen).

Aufgabe von Umlegungsmodellen ist es, zuvor ermittelte Verkehrsbeziehungen  $F_{ij}$  einer Quelle-Ziel-Matrix auf verschiedene Routen im Netzmodell aufzuteilen. Der Simulation der Verkehrswegewahl kommt damit eine zentrale Bedeutung bei der Ermittlung von Verkehrsbelastungen in einem Verkehrsnetz zu.

Kern der Verfahren zur Routensuche sind Suchalgorithmen, die Routen bzw. Verbindungen zwischen einer Quelle und einem Ziel ermitteln. An die Suche schließt sich dann ein Wahl- bzw. Splitverfahren an, das die Personenfahrten einer Quelle-Ziel-Beziehung auf die Routen bzw. Verbindungen aufteilt. Die Routen/Verbindungen bilden gleichzeitig die Grundlage für die Berechnung verschiedener Kenngrößen, u. a. Reisezeiten, Reiseweiten und Umsteigehäufigkeiten einer Ortsveränderung.

Grundprinzip aller Umlegungsverfahren ist die Minimierung der Summe aller Reisezeiten im Netz (WARDROP'sches Prinzip). Die individuelle Routenwahl von Verkehrsteilnehmern unterliegt jedoch

vielen verschiedenen Kriterien. Dabei spielen neben dem „objektiven“ Kriterium der Aufwandsminimierung v. a. subjektive Einflüsse eine entscheidende Rolle. In der Realität wählen unterschiedliche Personen unterschiedliche Routen für die gleiche Quelle-Ziel-Relation. Die Unterschiede können auf kognitive Größen, wie eingeschränkte Netzkenntnis und die Einschätzung von Qualitätsmerkmalen von Strecken und Knoten, wie etwa die Wartezeit an Lichtsignalanlagen, zurückgeführt werden (vgl. Kapitel 2.1). Aufgabe der Simulationsverfahren ist es, dieses Verhalten möglichst realitätsnah abzubilden.

Diese genaue Abbildung ist jedoch aufgrund des komplexen Wegewahlverhaltens eines Verkehrsteilnehmers nahezu unmöglich. Es werden deshalb räumliche und zeitliche Aggregationen durchgeführt, um Routenwahl- und Umlegungsmodelle überhaupt anwenden zu können. So werden z. B. Einzelpersonen mit ähnlichem Abfahrtsort  $i$  und Zielort  $j$  sowie ähnlicher Abfahrtszeit  $t$  zu Verkehrsbeziehungen zusammengefasst. Darüber hinaus wird in herkömmlichen Modellen ein statischer Netzzustand zugrunde gelegt, was bedeutet, dass alle Fahrzeuge einer Quelle-Ziel-Relation  $F_{ij}$  für die Dauer des Betrachtungszeitraumes gleichverteilt alle Netzelemente der benutzten Routen zwischen  $i$  und  $j$  belegen. Diese Vorgehensweise stellt jedoch eine starke Abstraktion tatsächlicher Verkehrsbedingungen dar.

Wesentliche Modelltypen werden in Kapitel 2.2.2 kurz beschrieben. Detailliertere Informationen über Umlegungsmodelle enthalten u. a. WERMUTH, M. (2001/2) und KÖHLER, U. et al. (2001).

### 2.2.2 Modelltypen

#### Bestweg-Umlegung (Alles-oder-Nichts-Umlegung)

Die gesamte Fahrtenmenge einer Verkehrsbeziehung  $ij$  wird auf die „kürzeste Route“, d. h. auf die Route mit dem geringsten Aufwand (Widerstand), im Netzmodell zwischen den beiden Verkehrszellen umgelegt.

Die Realität des Straßenverkehrs wird mit dieser Methode weitestgehend nicht abgebildet. Voraussetzungen dieses Verfahrens sind einerseits, dass die Verkehrsteilnehmer vollständig über die Netzwidestände informiert sind und andererseits ausschließlich den kürzesten Weg wählen. Diese Voraussetzungen sind i. Allg. nicht gegeben. Das unterschiedliche Einschätzungsvermögen der Ver-

kehrssituation führt zu der Auswahl mehrerer unterschiedlicher Routen zwischen zwei Verkehrszellen. Je nach Fahrer gelten individuelle Kriterien bei der Wegewahl, sodass sich die Zahl der Ortsveränderungen einer Relation auf mehrere Routen verteilt. Die Umlegung nach dem Bestweg-Verfahren führt meist zu einer unrealistischen und häufig die Leistungsfähigkeit übersteigenden Belastung auf den Hauptverkehrsstraßen des Netzes.

#### Nutzenmaximierungsmodell (Logit-Modell)

Als individuelles Entscheidungsmodell kann die Routenwahl in Form des multinominalen Logit-Modells beschrieben werden [vgl. WERMUTH, M. (2001/3)]. Die Annahmewahrscheinlichkeit der Route  $r$  bei einer Ortsveränderung von Verkehrszelle  $i$  nach Zelle  $j$  mit dem Verkehrsmittel  $m$  ist demnach

$$p(r|i,j,m) = \frac{\exp(-w_{ijmr})}{\sum_r \exp(-w_{ijmr})}$$

mit  $w_{ijmr}$ : Widerstand für die Route  $r$  von Quelle  $i$  nach Ziel  $j$  mit dem Verkehrsmittel  $m$

Die Zahl der Ortsveränderungen  $F_{ijmr}$ , die dann über die Route  $r$  verlaufen, berechnet sich demnach zu

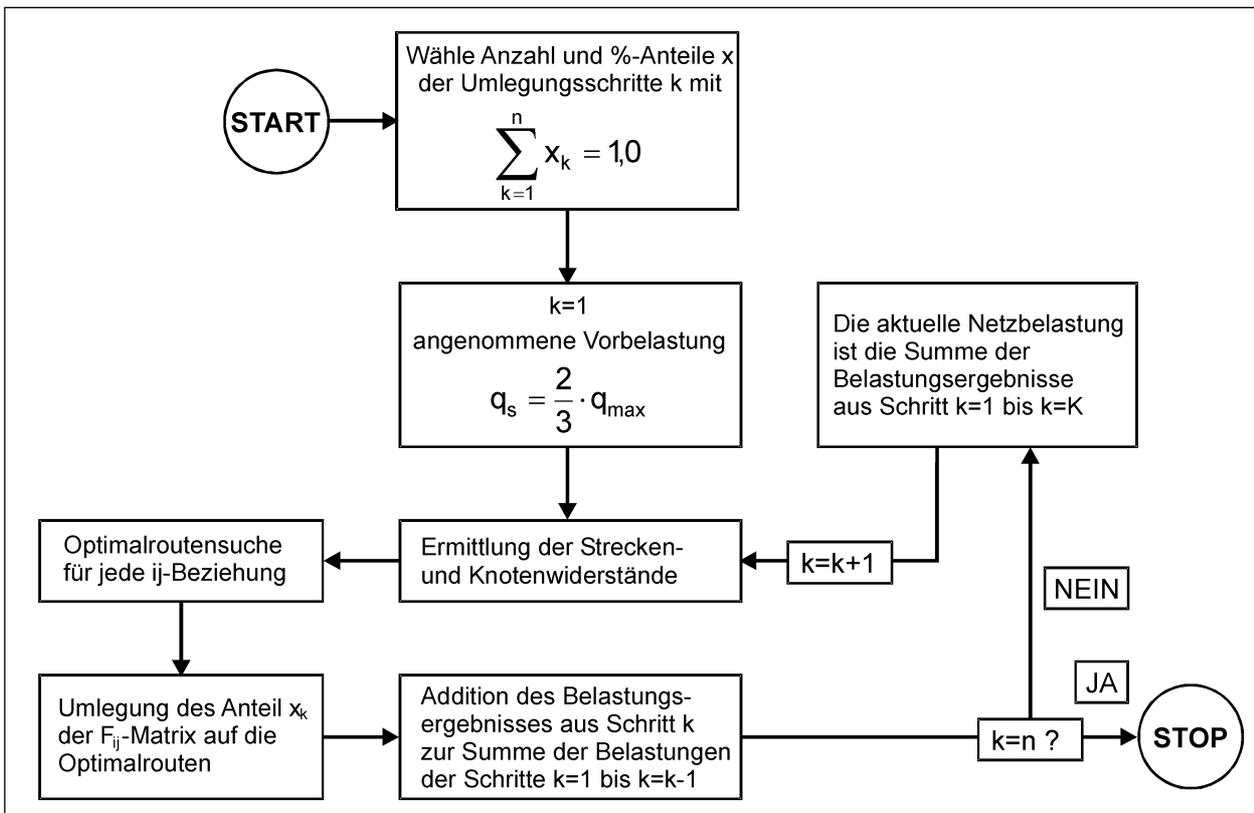
$$F_{ijmr} = F_{ijm} \cdot p(r|i,j,m)$$

mit  $F_{ijm}$ : Zahl der Ortsveränderungen von Quelle  $i$  nach Ziel  $j$  mit dem Verkehrsmittel  $m$

#### Belastungsabhängiges Umlegungsmodell

Bei der belastungsabhängigen bzw. kapazitätsbegrenzten Umlegung (Capacity-Restraint-Verfahren) wird das Netz schrittweise mit Teilmengen aller Quelle-Ziel-Beziehungen belastet. Nach jedem Schritt werden die Streckenwiderstände entsprechend der aktuellen Belastung anhand von Widerstandsfunktionen (Capacity-Restraint-Funktionen, Fahrdauerkorrekturen) neu bestimmt. Diese neu berechneten Streckenwiderstände sind maßgebend für den nächsten Umlegungsschritt (vgl. Bild 2-2).

In jeden Umlegungsschritt werden nach dem Bestweg-Verfahren die Routen mit dem geringsten Widerstand gesucht und mit den entsprechenden Teilmengen der Quelle-Ziel-Matrix belastet. Dabei wird im ersten Schritt i. d. R. von einer Nullbelas-



**Bild 2-2:** Ablauf des belastungsabhängigen Verfahrens [nach SERWILL, D. (1994)]

tung ausgegangen, d. h., der Widerstand entspricht einer unbelasteten Strecke.

Durch diese sukzessive Umlegung verteilen sich später aufgetragene Teilmengen auch auf die weniger belasteten Alternativstrecken. Durch die streckenbezogene Summation der Verkehrsmengen aus den einzelnen Schritten erhält man die maßgebende Verkehrsbelastung im Netz. Diese muss dann anhand von vorliegenden Zählwerten kalibriert werden [vgl. u. a. WERMUTH, M. (2001/3)].

Eine weitere Möglichkeit der belastungsabhängigen Umlegung ist das Gleichgewichtsverfahren. Dieses Verfahren stellt im Grunde genommen eine Variante des herkömmlichen Capacity-Restraint-Modells dar. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass die CR-Modelle nur auf intuitiven Vorstellungen beruhen und den Gleichgewichtszustand mit Hilfe heuristischer Methoden zu ermitteln versuchen. Im Gegensatz dazu hat die Gleichgewichtsumlegung eine feste mathematische Basis, was die Anwendung eindeutiger mathematischer Verfahren zur Ermittlung des Gleichgewichts ermöglicht.

Das Gleichgewichtsmodell beruht auf den so genannten WARDROP-PRINZIPIEN des Nutzer- bzw.

Systemgleichgewichts. Beim Nutzergleichgewicht verteilen sich die Fahrzeuge so auf den Strecken, dass alle gewählten Routen einer Quelle-Ziel-Beziehung die gleiche (zeitminimale) Reisezeit aufweisen. Jeder Verkehrsteilnehmer hat den gleichen Widerstand auf seiner Route und kann damit keinen Vorteil durch die Wahl einer anderen Route erzielen. Das Systemgleichgewicht ist dann erreicht, wenn die Summe aller Widerstände im Netz minimiert wird (Systemoptimum).

Das Gleichgewichtsverfahren setzt bei der Ermittlung der Verkehrsbelastungen auf das Ergebnis einer „einfachen“ Capacity-Restraint-Umlegung (ohne Gleichgewichtszustand) auf. Der Gleichgewichtszustand wird anschließend durch eine mehrstufige Iteration hergestellt.

Da das belastungsabhängige Verfahren sehr einfach in der Handhabung ist, wird es häufig bei Umlegungsrechnungen im MIV in der Praxis angewendet.

#### Stochastisches Umlegungsmodell

Bei der stochastischen Umlegung (Schätzfehler-Methode) werden die Fahrtenmengen jeder Verkehrsbeziehung in mehrere Teilmengen aufgeteilt

(analog dem belastungsabhängigen Umlegungsmodell). Für jede Teilmenge werden die einzelnen Streckenwiderstände des Netzes mit einem zufälligen (normalverteilten) Schätzfehler versehen und in diesem „verschätzten“ Netz der kürzeste Weg gesucht. Auf diesen wird dann die einzelne Teilmenge umgelegt. Die Überlagerung aller Teilmengen auf einer Strecke ergibt dann die Streckenbelastung.

Im Gegensatz zum Bestweg-Verfahren und der belastungsabhängigen Umlegung wird nicht davon ausgegangen, dass jeder Verkehrsteilnehmer die Widerstände exakt einschätzen kann. Durch einen zufälligen Schätzfehler werden die subjektiven Vorstellungen der Verkehrsteilnehmer berücksichtigt [vgl. FALKENHAUSEN, H. (1967)].

#### Dynamische Umlegungsmodelle

Die bisher vorgestellten Umlegungsmodelle sind als statisch zu bezeichnen, da sie unterstellen, dass

- die Verkehrsnachfrage zeitlich konstant ist und damit für diesen Zeitbereich (meist Tag oder Spitzenstunde) nur konstante, mittlere Widerstände bzw. Belastungen vorliegen,
- alle Verkehrsbeziehungen (genau) in der zugrunde liegenden Zeiteinheit stattfinden.

In Wirklichkeit treten jedoch Änderungen der Verkehrsnachfrage in kleinen Zeiteinheiten auf, so zum Beispiel am Ende einer Großveranstaltung, wenn in kürzester Zeit eine große Verkehrsmenge in das Netz eingespeist wird. Dieses Phänomen ist mit einem Mittelwert kaum angemessen abzubilden.

Verfahren, die dagegen in der Lage sind, die in der Realität auftretenden zeitlichen Schwankungen der Verkehrsnachfrage innerhalb einer Zeiteinheit und die räumlich-zeitlichen Überlagerungen von Quelle-Ziel-Beziehungen mit unterschiedlicher Startzeit zu berücksichtigen, werden unter „Dynamische Umlegungsmodelle“ zusammengefasst. Einer der ersten theoretischen Ansätze wurde zu Beginn der 1980er Jahre von POLUMSKY entwickelt [POLUMSKY, D. (1987)]. Weitere dynamische Umlegungsmodelle sind in SERWILL, D. (1994) und FRIEDRICH, M. et al. (2000) dargestellt.

## 2.3 Programmsystem VISUM

Ein in Deutschland weit verbreitetes softwaretechnisches Instrumentarium zur Umlegungsrechnung im Individualverkehr ist das Programmsystem VISUM der PTV AG, Karlsruhe. Dies wird im Rahmen der Projektbearbeitung eingesetzt. Ein Überblick über international eingesetzte Umlegungsmodelle findet sich bei HAN [HAN, B. (2001)].

Das Programmsystem VISUM bietet die Möglichkeit, vorhandene Quelle-Ziel-Matrizen mit Hilfe verschiedener Umlegungsverfahren auf verkehrsmittelspezifische Teilnetze umzulegen. Im MIV stehen u. a. folgende Umlegungsverfahren zur Auswahl:

- das Sukzessivverfahren,
- das Gleichgewichtsverfahren und
- das Lernverfahren.

Die Umlegungsverfahren unterscheiden sich durch das verwendete Suchverfahren und das Verfahren zur Aufteilung der Personenfahrten. Als Ergebnis der Umlegung erhält man Belastungswerte der benutzen Netzobjekte (Knoten, Strecken, Anbindungen, Abbiegebeziehungen). Außerdem speichert VISUM alle Routen, die dann für weitere Auswertungen (z. B. Belastungsspinne) genutzt werden können.

Wesentlicher Bestandteil dieser Routenwahl- und Umlegungsverfahren ist ein Widerstand, der sich in Abhängigkeit von den bereits vorhandenen Belastungen der Netzelemente ändert (Belastungsabhängiges Umlegungsmodell). Im Folgenden werden die einzelnen Verfahren beschrieben. Die Beschreibungen sind dem VISUM-Benutzerhandbuch entnommen [PTV (2001)].

### 2.3.1 Sukzessivverfahren

„Das Sukzessivverfahren bildet das allmähliche ‘Volllaufen’ eines Straßennetzes nach. Zu Beginn finden die Verkehrsteilnehmer ein freies Straßennetz vor, in dem für jede Quelle-Ziel-Beziehung genau eine kürzeste Route existiert. Das Straßennetz wird dann schrittweise belastet. Jeder Schritt belastet das Straßennetz durch zusätzliche Fahrzeuge und erhöht so den Widerstand auf den belasteten Strecken, Abbiegebeziehungen und Anbindungen. Durch den veränderten Widerstand können sich beim nächsten Schritt andere kürzeste Routen ergeben“ [PTV (2001)].

Das Sukzessivverfahren ist eine belastungsabhängige Umlegung ohne Berücksichtigung des Nutzer- bzw. Systemgleichgewichts. Durch die schrittweise Umlegung und Belastung alternativer Routen nähert sich das Sukzessivverfahren in jedem Schritt dem Gleichgewichtszustand an. Nachteile dieses Verfahrens sind:

- Die Wahl der Anzahl und Größe der Schichten (Teilmatrizen) hat wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis der Umlegungsrechnung. Bisher liegt kein Verfahren für die optimale Festlegung der Schichten vor.
- „Die Berechnung wird nach der vorgegebenen Schrittzahl beendet, ohne dass eine Kontrolle der Übereinstimmung zwischen der erreichten Verkehrsbelastung und der Streckenwiderstände erfolgt“ [PTV (2001)]. Die Berechnung von Überlastungen bestimmter Netzelemente kann somit nicht ausgeschlossen werden.

### 2.3.2 Gleichgewichtsverfahren

„Das Gleichgewichtsverfahren verteilt die Nachfrage entsprechend dem ersten WARDROP'schen Prinzip: Jeder einzelne Verkehrsteilnehmer wählt seine Route derart, dass der Widerstand auf allen alternativen Routen letztlich gleich ist und jeder Wechsel auf eine andere Route die persönliche Fahrzeit erhöhen würde. Ausgehend von einer Sukzessivumlegung als Startlösung wird der Gleichgewichtszustand in einer mehrstufigen Iteration hergestellt. Im inneren Iterationsteilschritt werden paarweise je 2 Routen einer Beziehung durch Verlagern von Fahrzeugen ins Gleichgewicht gebracht. In der äußeren Iteration wird überprüft, ob aufgrund des aktuellen Netzzustandes neue Routen mit geringeren Widerständen gefunden werden können“ [PTV (2001)].

Das hier vorgestellte Verfahren basiert also auf einem belastungsabhängigen Umlegungsmodell unter Berücksichtigung des Nutzeroptimums. D. h., für alle Routen einer Quelle-Ziel-Beziehung ergibt sich der gleiche Widerstand.

In den Bildern 2-3 sowie 2.4 wird der Ablauf des Gleichgewichtsverfahrens dargestellt, wobei in Bild 2-3 der äußere und in Bild 2-4 der innere Iterationsschritt erläutert werden. Im inneren Iterationsschritt findet ein Netzausgleich statt, d. h., die Belastung wird so lange auf die entsprechenden Routen verteilt, bis alle Routen den gleichen Widerstand aufweisen. Der Ausgleich der Belastung wird paarweise durchgeführt, das bedeutet, die Route

mit dem geringsten Widerstand erhält eine höhere Belastung zugunsten der Route mit dem größten Widerstand der jeweiligen Quelle-Ziel-Beziehung. Im äußeren Iterationsschritt wird durch eine Bestweg-Routensuche auf Grundlage der im inneren Iterationsschritt berechneten Belastungen nach neuen Routen gesucht. Werden keine neuen Routen mehr gefunden, bricht die Iteration ab und das Nutzergleichgewicht ist erreicht.

Das Gleichgewichtsverfahren liefert „wirklichkeitsnähere“ Ergebnisse als das Sukzessivverfahren, da erst im Gleichgewichtszustand (d. h., alle Routen der einzelnen Quelle-Ziel-Beziehungen haben den gleichen Widerstand) die Umlegung abgebrochen wird [PTV (2001)]. Im Gegensatz zum Sukzessivverfahren werden weniger überlastete Streckenabschnitte ermittelt.

### 2.3.3 Lernverfahren

Das Lernverfahren nach LOHSE [vgl. SCHNABEL, W. (1997)] zählt ebenfalls zu den Gleichgewichtsmodellen und bildet den „Lernprozess“ der Verkehrsteilnehmer bei der Benutzung des Straßennetzes ab. Nach einer Bestweg-Umlegung am Anfang berücksichtigen die Verkehrsteilnehmer die Informationen der letzten Fahrt für die neue Routensuche (sie „lernen“). Der Widerstand für die Routensuche ergibt sich iterativ aus der aktuellen Belastung (analog Sukzessivverfahren) und dem zuletzt geschätzten Widerstand. Der Gleichgewichtszustand ist dann erreicht, wenn die Widerstände aus aktueller Belastung und die entsprechenden geschätzten Widerstände auf allen Routen gleich sind.

Im Einzelnen läuft das Lernverfahren in folgenden Schritten ab:

1. Die Belastung des ersten Iterationsschrittes ergibt sich aus einer Bestweg-Umlegung auf die Routen mit den geringsten Widerständen des unbelasteten Netzes (Ausgangslösung). Die Streckenwiderstände im unbelasteten Netz sind die ersten geschätzten Widerstände  $w^*_n = 0$ .
2. Die aktuellen Streckenwiderstände  $w_n = 1$  ergeben sich aus der im ersten Iterationsschritt ermittelten Belastung auf Basis der Capacity-Restraint-Funktionen.
3. Die geschätzten Streckenwiderstände nach dem ersten Iterationsschritt  $w^*_n = 1$  lassen sich aus den aktuellen Widerständen  $w_n = 1$  und den geschätzten Widerständen  $w^*_n = 0$  ableiten, und zwar nach der Formel:

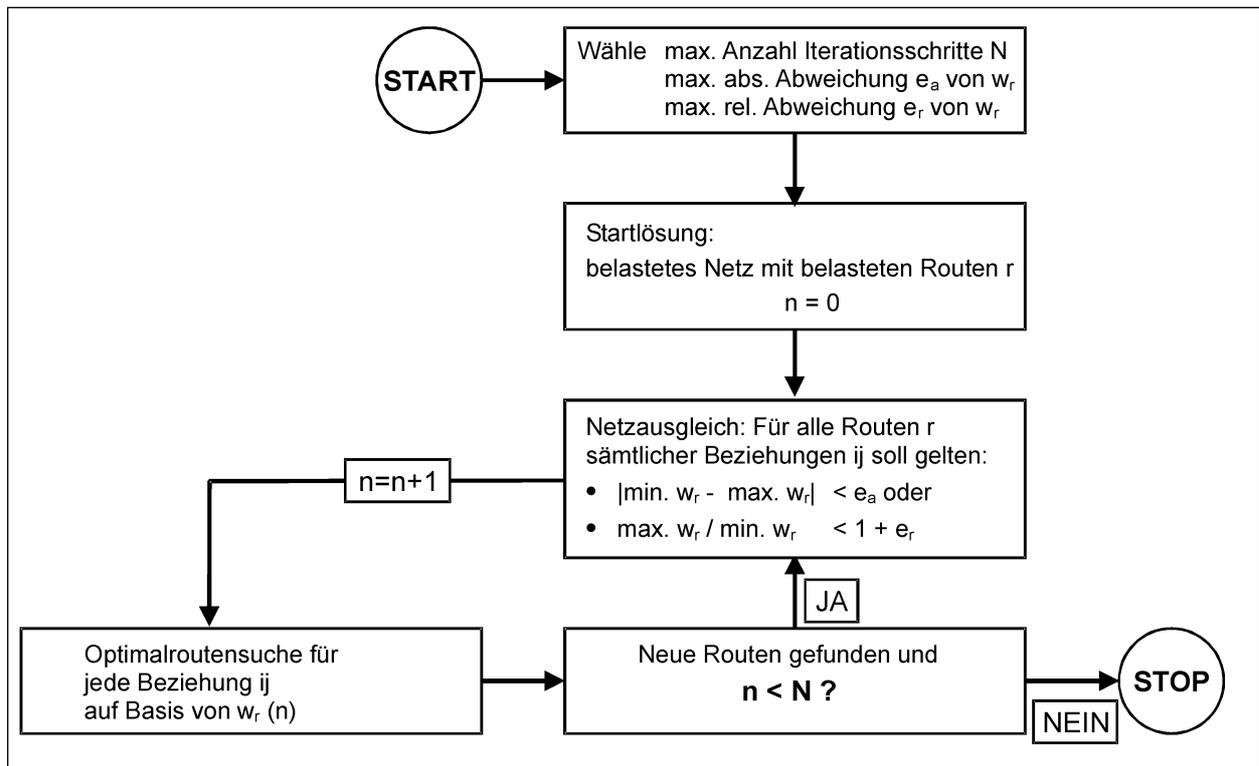


Bild 2-3: Äußere Iteration des Gleichgewichtsverfahrens

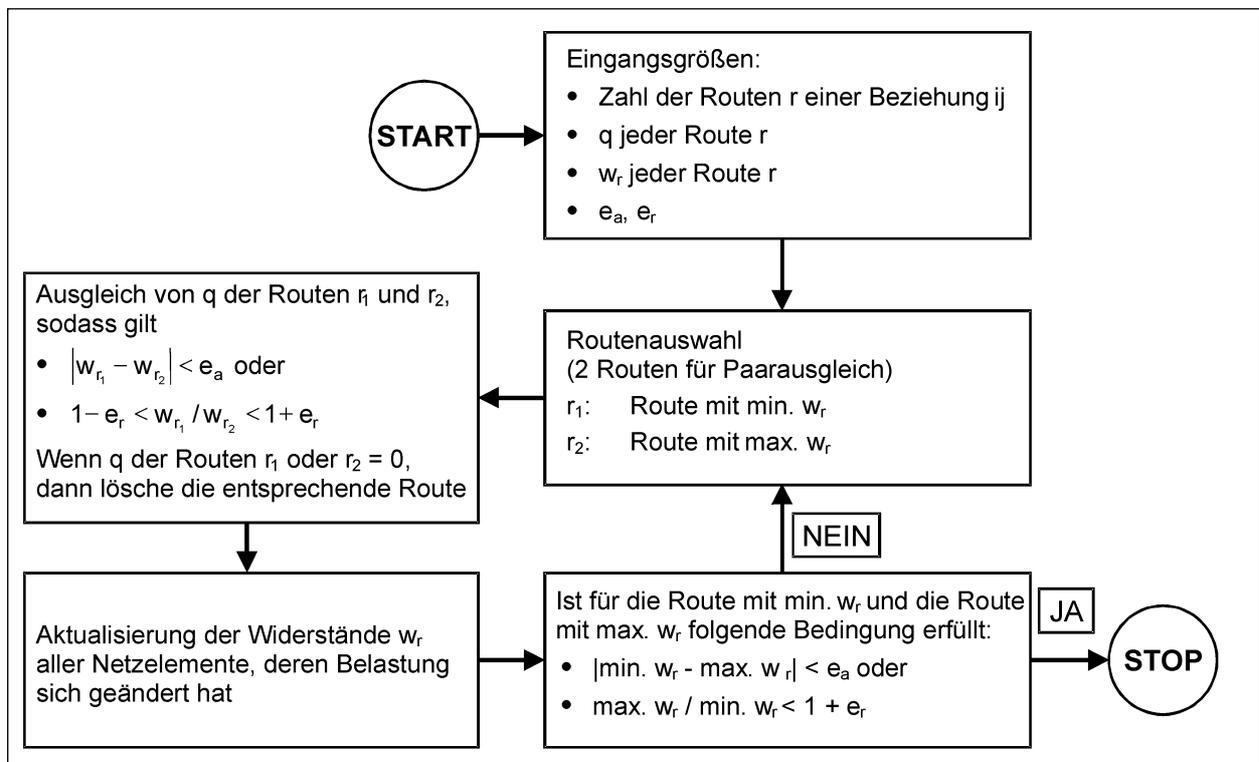


Bild 2-4: Innere Iteration (Netzausgleich) des Gleichgewichtsverfahrens

$$w_{r,n+1} = w_{r,n} + \Delta \times (w_{r,n} - w_{r,n}^*)$$

Dabei ist  $\Delta$  der so genannte Lernfaktor. „Wenn  $\Delta = 0$  gewählt wird, 'lernt' das Verfahren nicht,

sondern verharrt im Ausgangszustand. Es gibt keine Konvergenz, das Nutzergleichgewicht wird nicht erreicht. Wenn  $\Delta = 1$  gewählt wird, 'lernt' das Verfahren nur bedingt, es nimmt

immer die aktuellen Streckenwiderstände  $w_n$  als Grundlage für die erneute Schätzung der Fahrwegewahl" [SCHNABEL, W. (1997)]. Der Lernfaktor kann sowohl als Konstante als auch als Variable in das Verfahren eingeführt werden. In VISUM wird der Lernfaktor in jedem Iterationsschritt neu berechnet [vgl. PTV (2001)]. Nach SCHNABEL [SCHNABEL, W. (1997)] liegt der Wertebereich des Lernfaktors im Bereich von etwa 0,2 bis 0,5.

4. Aufgrund der neuen geschätzten Widerstände  $w^*_n = 1$  werden im zweiten Iterationsschritt wiederum die Routen mit dem geringsten Widerstand berechnet (Best-Weg-Umlegung). Die in den ersten beiden Iterationsschritten ermittelten Routen werden mit  $1/n$ , d. h. mit  $1/2$  der Nachfrage, belastet.
5. Die Schritte 2 bis 4 werden so lange wiederholt, bis die Abbruchbedingung erfüllt wird. Die aktuellen Streckenwiderstände  $w_n$  ergeben sich jeweils aus der im Iterationsschritt zuvor ermittelten Belastung, die geschätzten Widerstände  $w^*_n$  aus den aktuellen und den zuvor geschätzten Streckenwiderständen. Die Belastung der in den jeweiligen Iterationsschritten ermittelten Routen ergibt sich aus  $1/n$  der Nachfrage, wobei  $n$  die Anzahl der Iterationen darstellt.

Neben einer festgelegten Anzahl von Iterationen bricht das Verfahren ab, wenn folgende Bedingung für alle Strecken eingehalten ist:

$$w_n - w^*_{n-1} < E$$

Die Genauigkeitsschranke  $E$  ist dabei die maximale Abweichung des Widerstandes, die sich in Abhängigkeit des aktuellen Widerstandes des vorletzten Iterationsschritts berechnen lässt [vgl. PTV (2001)].

„Unter der Voraussetzung, dass eine ausreichende Anzahl von Iterationsschritten ( $N > 40$ ) durchgeführt wird und das Verfahren nicht aufgrund der Bedingung  $n = N$  terminiert, liefert das Lernverfahren wirklichkeitsnahe, stabile Ergebnisse. Auch bei einem nicht voll ausgelasteten Netz ergibt sich eine gute Verteilung der Belastung auf Alternativrouten" [PTV (2001)]. Da für eine „gute“ Lösung mehr Iterationsschritte als beim Gleichgewichtsverfahren benötigt werden, sind beim Lernverfahren die Rechenzeiten länger.

## 3 Untersuchungsmethoden

### 3.1 Überblick über das Untersuchungskonzept

Das Untersuchungskonzept bestand im Kern aus der empirischen Erfassung von Fahrtrouten sowie, parallel dazu, der Erhebung von Motiven zur Routenwahl.

Der Projektentwurf sah vor, Fahrtrouten, Reisezeit und Reiseweiten mit Hilfe der GSM-Ortung einerseits automatisch mit einem neuartigen Routenidentifikationsverfahren<sup>2</sup> zu erheben und ergänzend dazu die vergleichbaren Größen über eine simulierte Routensuche und Umlegung zu berechnen. Als in der Planungspraxis weit verbreitetes Programm zur Routenwahl und Umlegung sollte dabei auf das Programmsystem VISUM zurückgegriffen werden. Unterschiede zwischen den beiden Berechnungsergebnissen sollten ermittelt werden.

Ausgehend von der Annahme, dass das Ergebnis der Routenidentifikation weit gehend der tatsächlich absolvierten Route entspricht, war geplant, anhand dieser Route Motive, die bei ihrer Wahl eine Rolle gespielt haben, in einem Interview zu erheben. Der Vergleich der Ergebnisse beider Verfahren zur Routenberechnung sowie die Einbeziehung der individuellen Entscheidungskriterien sollten Hinweise auf Ansätze zur Verbesserung von Routenwahlmodellen liefern.

#### Routenerfassung

Das betriebsbereite Mobiltelefon ausgewählter Personen wurde während eines Weges mehrfach geortet. Die Ortungsergebnisse – die Standorte der Person – wurden unter Verwendung besonderer Algorithmen auf das Straßennetz<sup>3</sup> projiziert, sodass das Netzelement, auf dem sich der Erhebungsteilnehmer gerade aufhielt, sowie seine Fahrtrichtung bestimmt werden konnten. Für den gesamten Weg ließen sich so die vollständige Fahrtroute sowie die Reisezeit und Reiseweite ermitteln. Durch eine parallele Routenerfassung mit Hilfe von GPS (für insgesamt 25 Kfz-Fahrten) sollten die auf Grundlage der GSM-Daten ermittelten Routen verifiziert werden.

<sup>2</sup> Vgl. Kapitel 3.3.2

<sup>3</sup> Hier: VISUM-Netzmodell basierend auf dem Stadtentwicklungsplan für Berlin [IVU (1998)]

### Modellrechnung

Als Eingangsgrößen gingen in die Modellrechnung Daten der Verkehrsnachfrage, ein Netzmodell und Widerstandsfunktionen ein. Nach Eingabe der durch die mobilfunkgestützte Erhebung erfassten Quelle und Ziel eines Weges in das Routenwahlmodell (Quelle-Ziel-Beziehung) berechnete VISUM die zeitkürzeste(n) Route(n) inkl. Reisezeit und Reiseweite auf Basis einer Gleichgewichtsumlegung (vgl. Kapitel 2.3.2).

### Interview

Die Route bzw. die Reiseweite, die ein Erhebungsteilnehmer zurückgelegt hat, lag damit in zweifacher Form vor:

- empirisch erfasst mittels GSM-Ortung („GSM-Route“),
- modellmäßig ermittelt auf Grundlage von VISUM („VISUM-Route“).

Beide Ergebnisse wurden kartografisch dargestellt und in einer Grafik in einer Computer-Anwendung sichtbar gemacht („ausgedruckt“), um diese als Grundlage des Interviews verwenden zu können. Ein Interviewer sollte den Erhebungsteilnehmer möglichst noch am Tag der entsprechenden Fahrt aufsuchen, ihm den Ausdruck vorlegen und auf dieser Basis nach den Motiven für seine Route befragen. Durch dieses persönliche Interview konnten Ursachen und Hintergründe für das Routenwahlverhalten erfasst werden.

### Anpassung des Untersuchungskonzeptes

Da sich die Berechnung mittels des GSM-basierten Routenidentifikationsverfahrens als zeitlich äußerst aufwändig herausstellte und eine „Online“-Zustellung entsprechender Ergebnisse nicht wie geplant möglich war (vgl. Kapitel 4.4.5), wurde die oben beschriebene, ursprünglich geplante Vorgehensweise in Abstimmung mit dem Auftraggeber geändert. Anstelle der auf der Basis der Handy-Ortung ermittelten Routen (GSM-Routen) wurden dem Probanden die von VISUM berechneten Routen zur Identifikation der tatsächlich gefahrenen Route vorgelegt. Der weitere Ablauf stellte sich wie in Kapitel 3.3.4 beschrieben dar.

## 3.2 Forschungsleitende Hypothesen

Im Rahmen dieses Projektes galt es, die Frage zu beantworten, weshalb, d. h. auf Grundlage welcher Entscheidungen, ein Individuum eine bestimmte Route wählt (vgl. Kapitel 2.1). Erst wenn empirisch gestützte Gesetzmäßigkeiten für das individuelle Routenwahlverhalten vorliegen, können Hinweise erarbeitet werden, an welchen Punkten bestehende Routenwahlmodelle verbessert werden können.

Nach diesen Vorüberlegungen werden forschungsleitende Hypothesen formuliert, die mit Hilfe empirischer Untersuchungen zu überprüfen sind. Die Hypothesen setzen an vier Punkten an:

- dem Netzmodell,
- den Gründen und Motiven zur Routenwahl, die i. Allg. über die Widerstände der Netzelemente abgebildet werden,
- der dynamischen Komponente der Routenwahl,
- dem Schätzfehler bezogen auf die Widerstände.

### Netzmodell

Jeder Entscheidungssituation eines Verkehrsteilnehmers liegt die Wahrnehmung objektiver Systemmerkmale zugrunde. Der daraus resultierende Prozess aus Informationsaufnahme und -austausch wird als Kognition bezeichnet (vgl. Kapitel 2.1.1). Unter dem Begriff Kognition ist die Fähigkeit zu verstehen, Wahrgenommenes im Gedächtnis zu speichern, zu ordnen, zu begrifflichen Schemata zusammenzufügen sowie von den gesammelten Erfahrungen und Kenntnissen Gebrauch zu machen (lernen und denken).

Daraus resultieren die folgenden Hypothesen:

- Jedem Verkehrsteilnehmer ist ein individuelles, kognitives (Verkehrs-)Netz mit ebenso individuellen Netzparametern bekannt. Dieses Netz variiert zudem vermutlich in Abhängigkeit u. a. vom Wegezweck und von den Personenmerkmalen (z. B. dem Geschlecht).

Die Überprüfung dieser Hypothese konnte jedoch mit dem in diesem Projekt gewählten Untersuchungskonzept nicht erfolgen. Diese Fragestellung liefert subjektive Faktoren die zwar theoretisch bekannt sind, empirisch jedoch (wenn überhaupt) nur mit Hilfe komplizierter und aufwändiger Erhebungstechniken (interaktive Befragungen, Tiefeninterviews) erfasst werden können. Es bleibt daher die

Frage offen, ob bzw. wie Kognition modelltheoretisch abgebildet werden kann.

- Einem Verkehrsteilnehmer ist im engeren Umkreis der Orte seiner Hauptaktivitäten, insbesondere im Umfeld seines Wohnstandortes, ein verzweigteres Netz bekannt als entlang des „Verbindungskorridors“ zwischen diesen Orten. Dementsprechend wird vermutet, dass bei kurzen, heimgebundenen Wegen eine Route große Streckenanteile im nachgeordneten Verkehrsnetz enthält.

Zur Bestätigung dieser zweiten Hypothese sollen sowohl für die GSM-Route als auch für die Modellrouten die jeweiligen Streckenanteile je Kategorie (Autobahnen, Hauptverkehrsstraßen etc.) erhoben und ausgewertet werden.

#### Widerstände/Motive

Routenwahlmodelle des MIV bauen auf der Wirksamkeit der Reisezeit als maßgebend bestimmendem Entscheidungskriterium auf. Wie in Kapitel 2.1.2 gezeigt, sind die individuellen Präferenzen jedoch weit gefächert und eine eindeutige Festlegung ausschließlich auf das Kriterium „Reisezeit“ fraglich. In diesem Zusammenhang werden die folgenden Hypothesen formuliert:

- Je nach Wegezweck existieren verschiedene Entscheidungskriterien bei der Optimierung einer Route.
- Die Entscheidungskriterien werden zudem in Abhängigkeit vom Wegezweck unterschiedlich gewichtet.

Zur Untersuchung dieser Fragen sollen die Gründe/Motive zur Wahl einer jeden Route in einem persönlichen Interview erhoben und im Zusammenhang mit Wegezwecken ausgewertet werden.

#### Dynamische Komponente

Die Modellroute wird auf Grundlage von Netzmodellen und Nachfragematrizen für drei Werktags-Stundengruppen berechnet (vgl. Kapitel 3.3.3). Dies stellt einen wesentlichen Vorteil zu der in der Praxis üblichen Vorgehensweise dar. Hier wird i. Allg. mit Nachfragematrizen der Spitzenstundengruppen eines durchschnittlichen Werktages gerechnet.

Auch wenn mit einer Differenzierung der Verkehrsnachfrage in drei Stundengruppen verbesserte Er-

gebnisse erzielt werden können, kann davon ausgegangen werden, dass sich innerhalb einer Stundengruppen Verkehrszustände ergeben, die über die herkömmliche Modellrechnung nicht abgebildet werden können.

Aufgrund der Tatsache, dass ein Verkehrsteilnehmer heute eine Vielzahl von Informationsmöglichkeiten im Bereich der Routenwahl hat (z. B. Navigationssysteme, Rundfunk oder dynamische Verkehrsinformationstafeln im Straßenraum), ist davon auszugehen, dass eine Route aufgrund eintreffender Informationen während der Fahrt geändert wird.

Es ist also wichtig, zu ermitteln

- ob und wie häufig eine vor Antritt einer Fahrt festgelegte Route im Verlauf der Fahrt geändert wird,
- aufgrund welcher Ereignisse Änderungen eintreten,
- welchen Einfluss dynamische Informations- und Steuerungseinrichtungen auf den Verkehrsteilnehmer ausüben,
- wie wichtig der Einfluss des Motivs „Erfahrung“ auf die Routenwahl ist.

#### Schätzfehler

Die geschätzte Reisezeit (und Reiseweite) weicht von den tatsächlichen Werten ab und wird individuell verschieden verschätzt. Dies ist damit erklärbar, dass Verkehrsteilnehmer eine individuelle Kenntnis über das ihnen zur Verfügung stehende Verkehrsnetz und eine unterschiedliche Verfügbarkeit von Informationen haben. Die Verschätzung kann außerdem vom Verkehrsfluss abhängen. Es wurde gezeigt [PATRIKSSON, M. (1994)], dass die Streuung der geschätzten Reisezeit in schwach belasteten Netzen größer ist als in hoch belasteten Netzen. Zudem kann sich die Verteilung der Reisezeitverschätzung für unterschiedliche Fahrertypen signifikant unterscheiden.

Allerdings wird in üblichen Modellverfahren ein Probit-Ansatz gewählt, der von einer Normalverteilung des Schätzfehlers bzgl. Reisezeit und Reiseweite ausgeht [FALKENHAUSEN, H. (1967)]. Probitbasierte Umlegungsmodelle verwenden für die numerische Berechnung der Verschätzung stochastische Simulationsverfahren.

Die Modellrechnung für Routen geht im Allgemeinen davon aus, dass einem Verkehrsteilnehmer

Reisezeiten und weitere Parameter eines Verkehrsnetzes bekannt sind. Dies ist in der Realität jedoch nicht der Fall. Daraus leitet sich die Hypothese ab, dass ein Verkehrsteilnehmer – je nach Wegezweck – die Reisezeit, die Reiseweite und/oder weitere Entscheidungskriterien überschätzt. Somit legt der Verkehrsteilnehmer vom Modell abweichende Annahmen zugrunde. Es ist daher denkbar, dass z. B. eine objektiv kürzere Alternativroute nicht gewählt wird, weil sie vom Verkehrsteilnehmer subjektiv als „länger“ eingeschätzt wird.

Die Untersuchung beinhaltet daher Fragen nach der Überschätzung von Reisezeit und Reiseweite, um zu ermitteln, wie groß deren Einfluss auf die Routenwahl ist.

### 3.3 Komponenten der Untersuchung

#### 3.3.1 Erhebung des Verkehrsverhaltens inklusive des Routenwahlverhaltens

Zur Entgegennahme von Nutzereingaben können für verschiedene Dienste Sprachcomputer-Lösungen verwendet werden. Diese Interactive-Voice-Response-Systeme (IVR-Systeme) realisieren interaktive telefonbasierte Anwendungen, die Eingaben eines Anrufers entgegennehmen und Ausgaben in Form von Sprache oder anderer akustischer Informationen liefern [KOHLEN, R. (2003/2)]. Neben der Wiedergabe von akustischen Informationen kann nach der Nutzer-Eingabe auch eine Verbindung zu einem anderen Anschluss hergestellt werden. Die Anrufer können eigenständig menügeführt durch das IVR-System mit festgelegten Kommandos, die im Mehrfrequenzwahlverfahren übermittelt werden (z. B. Eingabe über die Tastatur des Telefons), zu den in der Menüsteuerung festgelegten Zielen weitergeschaltet werden [SOMMER, C. et al. (2003)].

Im Zusammenhang mit der Aufgabenstellung dieses Forschungsprojektes erschien ein IVR-System als geeignete Lösung für die Befragung der Verkehrsteilnehmer nach ihrem Verkehrsverhalten, insbesondere nach ihrem Routenwahlverhalten. Im Folgenden wird der Ablauf der Erhebung aus Sicht des Nutzers kurz beschrieben.

Der Erhebungsteilnehmer ruft bei jedem Beginn und Ende eines Weges sowie ggf. beim Wechsel eines Verkehrsmittels eine definierte Telefonnummer an (sog. Erhebungsrufnummer, hier eine für den Anrufer kostenfreie 0800-Rufnummer). Nach dem Aufbau der Verbindung wird der Teilnehmer

Elektronischer Fragebogen		
1 Wegbeginn	2 Wegende	3 Umstieg
1 zu Fuß	1 nach Hause	1 zu Fuß
2 Fahrrad	2 Arbeiten	2 Fahrrad
3 öffentl. Verkehrsmittel	3 dienstliche Erledigung	3 öffentl. Verkehrsmittel
4 Pkw als Fahrer	4 Ausbildung	4 Pkw als Fahrer
5 Pkw als Mitfahrer	5 Einkaufen	5 Pkw als Mitfahrer
6 andere Verkehrsmittel	6 Freizeit	6 andere Verkehrsmittel
* Zurück zum Hauptmenü	7 sonstige Erledigung	* Zurück zum Hauptmenü
	* Zurück zum Hauptmenü	

Bild 3-1: Elektronischer Fragebogen

mittels sprachgestützter Menüführung durch einen elektronischen Fragebogen geleitet (Bild 3-1). Dieser elektronische Fragebogen ermöglicht die Befragung von Verkehrsteilnehmern während ihrer Fahrt (Online-Erfassung) und enthält Informationen über Verkehrsmittel und Zweck getätigter Wege.

Für die anzusagenden Texte des Fragebogens wurden eigens für diese Untersuchung Audio-Dateien erstellt.

Der große Vorteil dieses Systems liegt in der Nutzbarkeit durch jedes tonwahlfähige Telefon, insbesondere durch sämtliche Mobiltelefone unabhängig vom Netzbetreiber und Handy-Hersteller. Nutzer eines IVR-Systems können daher ihr eigenes Mobiltelefon ohne Modifikationen an Hard- oder Software als Endgerät verwenden. Setzt man diese Technik für eine mobilfunkgestützte Erfassung des Verkehrsverhaltens ein, kann jedes funktionsfähige Handy als Erhebungsinstrument genutzt werden.

Die Eingaben im Mobiltelefon, d. h. die gewählten Ziffern der entsprechenden Menüpunkte, werden dem IVR-System per Tonwahl übermittelt und unmittelbar analysiert. Das gleiche Vorgehen liefert am Ende einer Fahrt deren Wegezweck. Wechselt ein Verkehrsteilnehmer im Verlauf eines Weges das Verkehrsmittel, wird dieses ebenfalls über einen Anruf dokumentiert. Unmittelbar nach Zustandekommen einer Verbindung wurde der Erhebungsteilnehmer geortet (GSM-Ortung). Auf diese Weise wurden Start-, Umstiegs- und Zielort der Fahrt automatisch erfasst.

Gab ein Verkehrsteilnehmer für einen (Teil-)Weg das Verkehrsmittel „Pkw-Fahrer“ an, so wurde eine automatische Ortung (ohne weitere Aktivität des Verkehrsteilnehmers) in Intervallen von maximal zwei Minuten durchgeführt. Die Aneinanderreihung der Ortungsergebnisse lieferte dann, nach der Anwendung eines Algorithmus zur Routenberechnung (vgl. Kapitel 3.3.2), mögliche Routen unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit.

Dieses Erhebungsverfahren wurde in zwei Pretests hinsichtlich Erhebungsablauf und Validität der erfassten Daten geprüft und optimiert (vgl. Kapitel 4.1.1).

### 3.3.2 Verfahren der Ortung und Routenidentifikation (GSM-Route)

Die Bestimmung des geografischen Standortes eines Fahrzeuges bzw. eines Verkehrsteilnehmers wird als Ortung bezeichnet.

Zurzeit existieren verschiedene Verfahren zur Ortung. Die gegenwärtig verbreitetsten sind die Satellitenortung GPS, die Koppelortung in Kraftfahrzeugen (Radsensorik, digitale Karte und GPS) sowie die GSM-Mobilfunkortung. Höchste Genauigkeiten können mit der Koppelortung und GPS erreicht werden, hierfür sind jedoch spezifische Endgeräte erforderlich. Gegenwärtig eingesetzte Systeme zur Bestimmung der Position von Verkehrsteilnehmern, wie z. B. das GPS, liefern typischerweise geografische Koordinaten. Werden diese während der Fahrt mehrfach erhoben, so kann zur Beschreibung der Fahrtroute die Abfolge der einzelnen geografischen Koordinaten genutzt werden. Für eine Aussage über die benutzte Infrastruktur, z. B. die Straße, reichen diese Informationen jedoch nicht aus, da die reinen geografischen Koordinaten hierauf keinen direkten Bezug nehmen. Um die Position eines Verkehrsteilnehmers im Straßennetz zu bestimmen, werden daher sog. Map-Matching-Verfahren (Karteneinpassung) verwendet.

Voraussetzung für ein genaues Map-Matching sind genaue Ortungsdaten, die in kurzen Zeitintervallen von wenigen Sekunden erhoben werden. Die Genauigkeitsanforderungen werden an der Struktur des Straßennetzes gemessen und liegen im Bereich weniger Meter.

Für eine Vielzahl von Anwendungen ist es jedoch aus wirtschaftlichen und organisatorischen Gründen nicht möglich, die Verkehrsteilnehmer mit den erforderlichen Endgeräten für die Satellitenortung (GPS) auszustatten. Unabhängig davon ist der Einsatz dieser Ortungssysteme zur Positionsbestimmung von Verkehrsteilnehmern in Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs, insbesondere in U-Bahnen, technisch nicht möglich.

Aufgrund dessen nimmt das Mobiltelefon (GSM) eine zentrale Rolle als bereits weit verbreitetes Endgerät ein, da es sowohl für die Interaktion mit dem Verkehrsteilnehmer als auch für die Daten-

übertragung und Ortung genutzt werden kann. Die erforderlichen Systeme zur Ortung der Mobiltelefone sind in vielen GSM-Netzen bereits verfügbar. Die Mobilfunkortung fordert im Gegensatz zur GPS-Ortung meist keine zusätzlichen Endgeräte über ein bereits vorhandenes Mobiltelefon hinaus, erreicht jedoch nicht die Genauigkeiten der anderen Ortungsverfahren.

Ein neuartiges Verfahren zur Karteneinpassung unscharfer Ortungsdaten ist das in diesem Projekt eingesetzte Verfahren von KOHLEN [KOHLEN, R. (2003/1)].

Die Routenidentifikation wird in diesem Zusammenhang zur Ermittlung der von Verkehrsteilnehmern gefahrenen Routen auf der Grundlage einer unscharfen GSM-Ortung verwendet. Das Verfahren der Routenidentifikation löst das Problem, dass die GSM-Ortung vergleichsweise ungenau ist und aufgrund der Kostenstruktur nur im Abstand von zwei Minuten angefordert werden konnte, woraus Unschärfen in der Beschreibung des gefahrenen Weges entstehen.

Die Routenidentifikation besteht im Wesentlichen aus zwei Schritten:

- Ermittlung aller möglichen Routen unter Einhaltung der verkehrlichen Randbedingungen und derer der GSM-Ortung,
- Ermittlung des Zugehörigkeitsgrades der gefundenen Routen zur Menge der „wahrscheinlichen“ Routen durch mehrkriterielle Bewertung aller möglichen Routen.

Der Routenidentifikation liegt eine kontinuierliche GSM-Ortung zugrunde. Die erste Ortung wird bei einem gemeldeten Wegbeginn als Pkw-Selbstfahrer bzw. Umstieg auf einen Pkw als Fahrer ausgelöst (vgl. Kapitel 3.3.1). Bei Meldung eines Wegendes bzw. eines Umstiegs auf ein anderes Verkehrsmittel findet die letzte Ortung statt.

Da davon auszugehen ist, dass die Erhebungsteilnehmer nicht alle Ereignisse melden, sondern aufgrund Vergesslichkeit, Unlust etc. Wege nicht vollständig dokumentieren (Eingabe-Nonresponse), ist es notwendig, für die letzte Ortung einer Pkw-Fahrt eine zeitliche Obergrenze festzulegen. Nach Analyse der Reisezeit von Pkw-Fahrten in Berlin-Brandenburg konnte festgestellt werden, dass etwa 97 % aller Pkw-Fahrten im Untersuchungsgebiet kürzer als 60 Minuten sind. Betrachtet man nur Pkw-Fahrten, die in Berlin beginnen und enden, so

sind sogar ca. 99 % aller Pkw-Fahrten kürzer als eine Stunde [IVU (1998)]. Als zeitliche Obergrenze wurde daher die Dauer von 60 Minuten festgelegt. Das bedeutet, dass spätestens 60 Minuten nach einem gemeldeten Beginn einer Pkw-Fahrt die (kontinuierliche) Ortung beendet wurde, wenn bis dahin keine Meldung „Wegende“ erfolgt ist. Der Weg an sich wurde aber deshalb nicht „geschlossen“. Die IVR-Protokolldatei enthält demzufolge auch Fahrten, bei denen Fahrtbeginn und -ende mehr als 60 Minuten auseinander lagen.

Im Ergebnis der Routenidentifikation entsteht grundsätzlich nicht eine einzelne Route, die den gefahrenen Weg exakt abbildet, sondern eine Menge möglicher Routen, die die Unschärfe in den Eingangsdaten der GSM-Ortung und des digitalen Verkehrsnetzmodells abbilden. Jede mögliche Route wird anhand einer Wahrscheinlichkeitsangabe bewertet.

Die Routenidentifikation schließt unmögliche Routen durch Anwendung mehrerer, definierbarer Kriterien aus und bewertet die verbleibenden Routen. Hierdurch können die möglichen Routen als sortierte Menge ausgegeben und beispielsweise auf die – gemäß den gewählten Kriterien – fünf besten Routen reduziert werden. Die folgenden Kriterien finden beim Ausschluss unmöglicher Routen Anwendung:

- Einhaltung der zeitlichen und räumlichen Rahmenbedingungen aller GSM-Ortungen (einschließlich der Beschreibung der Unschärfe) → Ortungsprüfung,
- Einhaltung der kinematischen Rahmenbedingungen, die sich aus der Attributierung des Verkehrsnetzmodells (Geschwindigkeiten, Abbiegebeziehungen etc.) ergeben → kinematische Prüfung.

Aus technischen Gründen wird ein Teil der Ortungsprüfung im Rahmen der kinematischen Prüfung durchgeführt. Zu Bewertung der gefundenen möglichen Routen werden die folgenden Kriterien herangezogen:

- kinematische Bewertung: Bewertung der Route im Zeit-Weg-Diagramm auf der Basis bekannter Unschärfebeschreibungen sowohl der GSM-Ortungen als auch der möglichen Geschwindigkeiten auf den Netzelementen.
- lokale zeitliche Umwege: Lokale Umwege, wie Blockumfahrungen, die sich nur bei der Be-

trachtung eines Teilabschnitts der gesamten Route als wesentlicher Umweg (bezogen auf die Reisezeit) darstellen, werden erkannt und reduzieren die Bewertung der jeweiligen Route.

- Gesamtreisezeit: Zeitlich kürzere Routen werden als eher wahrscheinlich bewertet als längere Routen.

An dieser Stelle sei bereits darauf hingewiesen, dass die Berechnung der Routen im innerstädtischen Bereich weitaus aufwändiger war als die Berechnung für Routen auf Fernstraßen (wie im ADAC-Staumeldedienst umgesetzt, vgl. TTS [2003]). Dies bewirkte, dass die Berechnung einer Route nicht wie geplant „online“ (innerhalb einer Stunde nach Beendigung der Fahrt) möglich war. Aufgrund dieser Randbedingungen wurde die in Kapitel 3.1 beschriebene Anpassung des Untersuchungskonzeptes notwendig. Weitere Informationen enthalten Kapitel 3.3.4 sowie Kapitel 4.3.

### 3.3.3 Berechnung der Modellroute

Die Modellroute wird mit Hilfe des in Kapitel 2.2 vorgestellten Programmsystems VISUM berechnet. Eingangsgrößen für die Modellrechnung sind

- Daten zur Verkehrsnachfrage,
- ein Netzmodell und
- Widerstandsfunktionen.

Diese Grundlagendaten sind im Rahmen des Stadtentwicklungsplans für Berlin [IVU (1998)] entstanden und werden laufend an die aktuelle Situation angepasst. Als Umlegungsverfahren des Programmsystems wurde das Gleichgewichtsverfahren (vgl. Kapitel 2.1.3) zur Berechnung der Modellroute gewählt.

#### Daten zur Verkehrsnachfrage

Die Nachfragematrizen der IVU AG liegen sowohl für den mittleren Werktag als auch für die folgenden drei Werktags-Stundengruppen vor:

- Frühberufsverkehr: 6-9 Uhr,
- Tagesverkehr: 9-15 Uhr,
- Nachmittagsberufsverkehr: 15-18 Uhr.

Die Stundengruppen-Matrizen bilden insbesondere fahrzweckspezifisch die Lastrichtungen ab und sind somit besonders als Datengrundlage für die Prognose von Verlagerungseffekten unter Berücksichtigung

sichtigung von Berufsverkehrs-Situationen geeignet. Die Nachfragematrix für den mittleren Werktag hingegen ist besonders für vergleichende Betrachtungen zwischen verschiedenen Alternativszenarien sowie für Prognosen mit längerem Zeithorizont geeignet.

Die Nachfragematrizen (mittlerer Werktag und Stundengruppen) berücksichtigen jeweils ca. 1.400 datenführende Bezirke (Teilverkehrszellen in Berlin, statistische Bezirke in Potsdam, Gemeinden im übrigen Brandenburg) mit ca. 670 Mio. Fahrten.

#### Modell des Straßennetzes von Berlin und Brandenburg

Die Netzmodelle liegen – passend zu den jeweiligen Nachfragematrizen – sowohl für den mittleren Werktag als auch für die o. g. Werktags-Stundengruppen vor. Sie unterscheiden sich in der jeweiligen Attributierung mit Kapazitäten und Geschwindigkeiten und bilden hiermit zeitlich beschränkte Angebotsdaten des Straßenverkehrsnetzes ab. Hierbei werden insbesondere die Fahrstreifensignalisierung Heerstraße sowie zeitlich beschränkte Sonderfahrstreifen für Linienomnibusse abgebildet.

Die Netze (mittlerer Werktag und Stundengruppen) bestehen aus jeweils ca. 15.000 Strecken (jeweils Hin- und Rückrichtung) sowie aus jeweils ca. 7.000 Knoten.

Modellbedingt können durch das Programmsystem VISUM keine Routen berechnet werden, wenn Start- und Zielbezirk identisch sind („Binnenverkehr“).

#### Zusätzliche Modellparameter

Im aktuellen Netzmodell werden Informationen über geplante verkehrsrelevante Baustellen und Veranstaltungen berücksichtigt (Ankündigungszeitraum 2 Wochen). Die Verkehrsmanagementzentrale (VMZ) Berlin benötigt diese Informationen, um eine valide Mittel- und Langfristprognose des Verkehrszustandes erstellen zu können (Prognose für den folgenden Werktag bzw. die Folgewoche).

Die Informationen über Baustellen und Veranstaltungen werden automatisch auf das Netzmodell Berlin-Brandenburg referenziert und in Form von Modifikationen der Attribute „Kapazität“ (z. B. wird für eine Sperrung der Straße die Kapazität dieser Straße auf null gesetzt), „Geschwindigkeit“ und „Streckentyp“ nach Maßgabe der Detailinformatio-

nen über die Einschränkungen abgebildet. Somit wird für jeden Prognosezeitraum ein jeweils in der Attributierung modifiziertes Straßennetzmodell generiert. Dieses modifizierte Netz dient als Grundlage für die Simulation der verkehrlichen Wirkungen (Verlagerungseffekte) aufgrund der verkehrsrelevanten Baustellen und Veranstaltungen.

#### Interpretation der Umlegungsergebnisse

Das Ergebnis einer Gleichgewichtsumlegung ist ein Bündel von Streckenbelastungen mit Streckenfahrzeiten. Die Schlussfolgerung, dass die errechneten Fahrtanteile genau die Benutzung der erzeugten Bestwege angibt, ist jedoch unzulässig. Die Eindeutigkeit der Gleichgewichtslösung gilt nur für Streckenbelastungen und -fahrzeiten und damit auch für die Gesamt-Reisezeit, jedoch nicht für Routenbelastungen. Es existieren in Wirklichkeit viele Routenbelastungsverteilungen, die zur gleichen Streckenbelastungsverteilung führen. Ein Anzeichen für die Mehrdeutigkeit ist die Tatsache, dass ein erzeugtes Routenbündel viele weitere Routen in sich birgt, nämlich als Kombination von Teilen der errechneten Routen. Auch diese implizit enthaltenen Wege sind alle gleich lang und genauso lang wie die explizit gefundenen Routen, sodass auch sie nach dem WARDROP-Prinzip benutzt werden.

#### 3.3.4 Interview zur Erhebung der Motive zur Routenwahl

Die Erhebung der Motive zur Routenwahl erfolgte i. d. R. über einen Zeitraum von fünf Tagen je Untersuchungsteilnehmer. Aus forschungsökonomischen Gründen blieben die Erhebungen auf die Werkstage Montag bis Freitag beschränkt. In diesem Zeitraum wurden sämtliche Kfz-Fahrten unabhängig vom Zweck mit ihrer Route erfasst.

An drei Tagen des Teilnahmezeitraums eines Probanden wurde eine computergestützte, persönliche Einzelbefragung auf der Basis eines fokussierten Interviews durchgeführt. Ziel war die Erhebung von Motiven und Hintergründen zum Routenwahlverhalten. Zusätzlich enthielt die Befragung einige standardisierte Fragen (u. a. nach der geschätzten Reisezeit und Reiseweite).

Beim fokussierten Interview handelt es sich um eine Befragungsform, bei der ein bestimmter Untersuchungsgegenstand im Mittelpunkt des Gespräches steht (in diesem Fall die gefahrene Route). Bei der Durchführung des Interviews wur-

den in Anlehnung an Empfehlungen aus der Literatur [u. a. BORTZ, J. et al. (1995)] die folgenden Grundsätze beachtet:

- Der Interviewer sollte die Reaktionen der Befragten nicht beeinflussen. Die Gesprächsführung wurde nicht in bestimmte Richtungen gelenkt, was dem Probanden persönliche Einschätzungen ermöglichte.
- Das Gespräch wurde situationsspezifisch geführt, um die Reaktion des Probanden auf bestimmte Ereignisse zu erfassen.
- Der Interviewer sollte vom Interviewleitfaden abweichende Gesprächsteile aufgreifen und diese dokumentieren, was v. a. das Aufstellen/Überprüfen neuer Hypothesen ermöglichte.
- Der Interviewer sollte sich bemühen, ein Höchstmaß an „selbstenthüllenden“ Kommentaren zu erhalten.

Für die Befragung wurde ein computergestütztes Interview (CAPI) entwickelt. Das CAPI-Verfahren war für diese Untersuchung besonders geeignet, weil den Probanden Routen in Form einer Karte grafisch dargestellt werden konnten (u. a. Vorteil einer Zoom-Funktion). Darüber hinaus konnten die Antworten und Reaktionen der Erhebungsteilnehmer direkt im Laptop gespeichert und auf Plausibilität vorgeprüft werden.

Das hier verwendete CAPI wurde am Institut für Verkehr und Stadtbauwesen der Technischen Uni-

versität Braunschweig entwickelt, ausführlich anhand verschiedener Beispiele getestet und optimiert.

Zur Vorbereitung der einzelnen Befragungen hat jeder Interviewer täglich die erfassten Daten der ihm zugewiesenen Probanden an einer festgelegten Datenstation übernommen, d. h. auf einem Laptop gespeichert. Diese Daten wurden im später durchgeführten Interview über das CAPI zugänglich gemacht und dargestellt. Die im Verlauf des Interviews zusätzlich erfassten Daten wurden den Datensätzen hinzugefügt und für die Auswertung gespeichert. Bei der nächsten Datenübernahme wurden die erfassten Daten in die Datenbank zurückgeschrieben.

#### Interviewstruktur

1. Abgleich der erfassten mit den tatsächlichen Wegen

Zunächst stellte der Interviewer anhand einer Tagesübersicht gemeinsam mit dem Probanden fest, ob alle getätigten Wege eines Tages vollständig erfasst wurden. Außerdem erhielt der Proband Gelegenheit, die erfassten Wegemerkmale (Startzeit und Fahrtzweck) zu überprüfen und ggf. zu korrigieren. Fehlende Wege wurden nicht komplett erhoben, sondern lediglich ihre Anzahl.

Anschließend wurde die im Folgenden beschriebene Befragung nacheinander für jeden einzelnen Teilweg als Pkw-Fahrer durchgeführt.

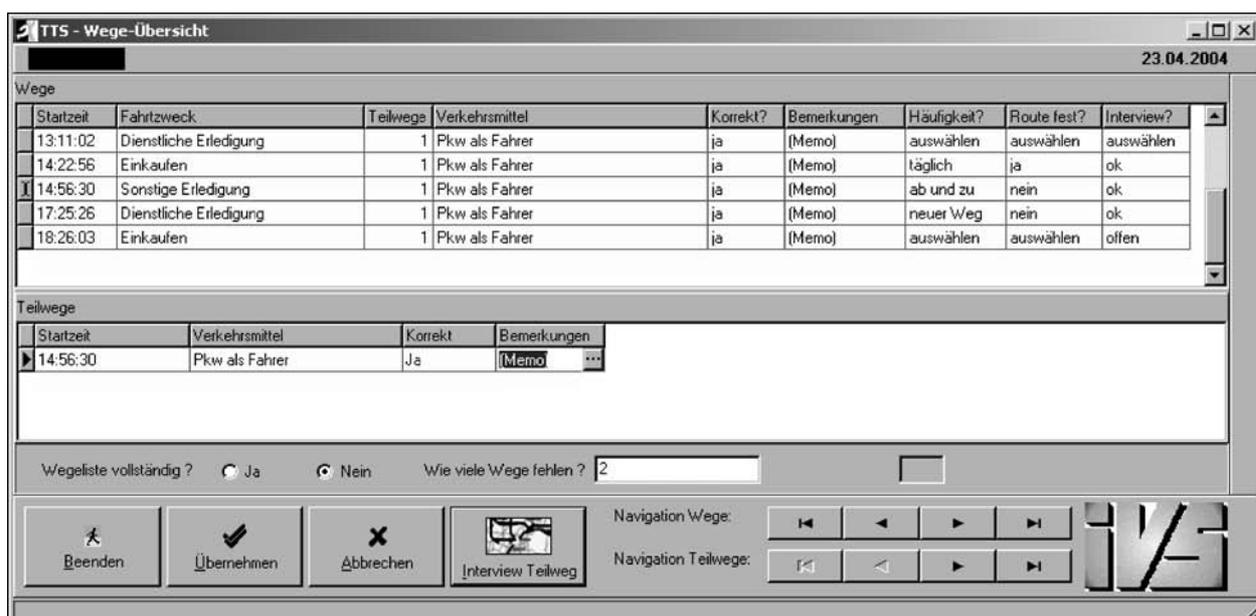


Bild 3-2: Programmfenster „Wege-Übersicht“

## 2. Identifikation der tatsächlichen Route anhand der VISUM-Routen

Zur Identifikation der tatsächlich gefahrenen Route wurden dem Probanden gleichzeitig maximal fünf der wahrscheinlichsten, unter Verwendung des Programmsystems VISUM berechneten Routen im Kartenfenster angezeigt. Die Darstellung der Routen beinhaltete detaillierte Informationen zum Straßennetz, wie z. B. Straßennamen, Straßenkategorien, bebaute, Bahn- und Grünflächen als Orientierungshilfen (vgl. Bild 3-3).

Die zu diesem Weg gehörigen Angaben (Fahrzweck und Startzeit) waren im Feld „Wege-Parameter“ angegeben. Dies diente dem Probanden zur „Wiedererkennung“ des dargestellten Weges.

Der Proband sollte versuchen, anhand des dargestellten VISUM-Umlegungsergebnisses (in Form von maximal fünf kartografisch dargestellten Routenalternativen) diejenige Route zu identifizieren, die der tatsächlich gefahrenen am ehesten entsprach. Anschließend sollte der Proband eine Einschätzung treffen, ob die tatsächliche Route der zuvor identifizierten entsprach bzw. wie groß ggf.

die Abweichung zwischen beiden Routen war. Zusätzlich schätzte der Proband die Reisezeit und Reiseweite dieser Fahrt ein. Die Angaben des Probanden wurden daraufhin in den Datensatz übernommen.

Bei dieser Methode wurde davon ausgegangen, dass der Proband die richtige Route auswählt. Zwangsläufig können dabei auch Fehler auftreten. Falsche Einstufungen der VISUM-Route sind daher möglich, jedoch unvermeidlich. Um diesen Fehler zu minimieren, wurden die Interviewer dahin gehend geschult, den Probanden die Lage bzw. den Verlauf der Route verständlich zu machen.

Bei der Orientierung auf der Karte erforderte die abstrakte Darstellungsform eine intensive Unterstützung des Befragten durch den Interviewer. Um eine mangelnde Orientierung der Befragten durch die Interviewer aufzufangen, haben sich die Interviewer vor Durchführung der Befragung eingehend mit den jeweiligen Routen anhand eines Stadtplanes befasst und sich ggf. die Routen in einem Stadtplan vorab markiert. Damit wurden Auswirkungen auf die Datenqualität weit gehend ausgeschlossen.

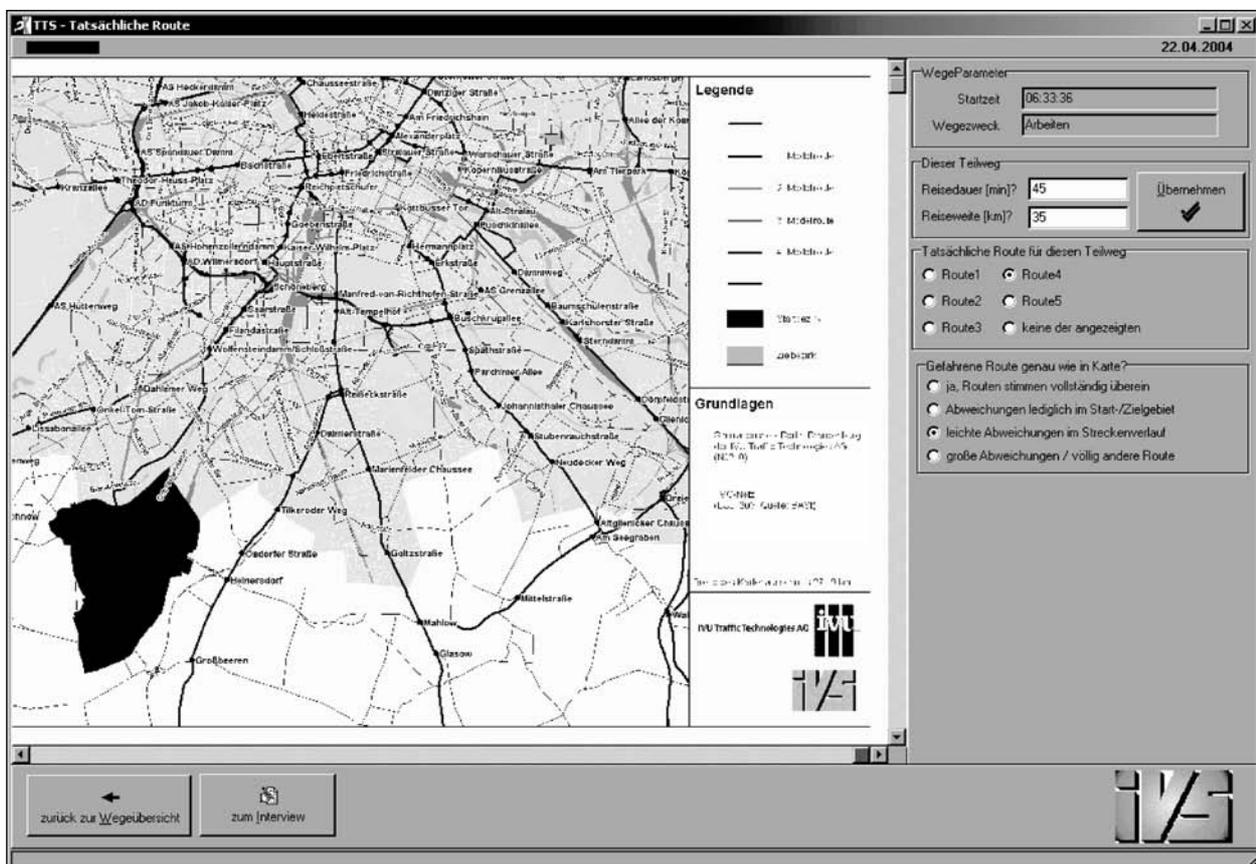


Bild 3-3: Programmfenster „VISUM-Route“ (eine größere Darstellung des Kartenfensters enthält Anlage A-1)

### 3. Ermittlung der Gründe/Einflussgrößen für die Routenwahl

Im nun folgenden, wichtigsten Schritt der Befragung galt es, die Gründe für die Wahl der Route zu erfragen. Diese Gründe waren nicht nur über geschlossene, sondern im Wesentlichen über offene Fragen zu erfassen. An dieser Stelle bestanden besondere Anforderungen an den Interviewer. Er musste die geäußerten Entscheidungskriterien und -zeitpunkte vollständig erfassen und dokumentieren. Die Antworten wurden im Rahmen der Auswertung gesichtet und falls möglich in Kategorien zusammengefasst.

Der weitere Ablauf des Interviews passte sich je nach Wegetyp an. D. h., die Abfolge der Fragen des Interviews zum Wegetyp „täglich Weg auf fester Route“ war eine andere als zum Typ „neuer Weg auf neuer Route“.

Besonderes Augenmerk galt den folgenden Parametern:

- Zeitpunkt der Festlegung auf eine bestimmte Route,
- Entscheidungskriterien für die Wahl der Route,

- Informationen vor Antritt der Fahrt (Navigationssystem, Radio, Handy o. Ä.),
- Abweichung von festgelegter Route aufgrund welcher Einflüsse,
- Zeitpunkt(e) der Entscheidung für Routenänderung,
- Bedeutung kollektiver Informationsmedien auf die Routenwahl.

### 4. Abgleich mit anderen VISUM-Routen

Im letzten Schritt erfolgte der Abgleich mit den anderen, nicht gewählten VISUM-Routen. Der Interviewer zeigte dem Probanden wiederum die kartografische Darstellung der berechneten VISUM-Routen. Der Teilnehmer wurde nach Gründen gefragt, die gegen die Wahl der (alternativen) VISUM-Routen sprachen.

Aspekte waren

- Kenntnis der Routenalternativen,
- Beurteilung der Routenalternativen seitens des Teilnehmers (Erfahrungswerte bzgl. Verkehrsqualität, Verkehrszuständen, besonderen Widerständen).



Bild 3-4: Programmfenster „Interview-Route“ (hier exemplarisch: täglicher Weg, feste Route)



Wahlmöglichkeiten hinsichtlich ihres Routenwahlverhaltens.

- Dem Auftragnehmer liegt ein aktuelles Straßennetzmodell für den Raum Berlin-Brandenburg vor.
- Der Auftragnehmer hat Zugriff auf aktuelle Belastungszahlen und Störungen wie Baustellen für das Berliner Straßennetz (über Daten der Verkehrsmanagementzentrale [VMZ] Berlin). Diese Daten sind für die Routensuche und die Interpretation des erfassten Routenwahlverhaltens von großer Bedeutung.

Problematisch für die Rekrutierung von Untersuchungsteilnehmern erwies sich die Tatsache, dass ein vergleichsweise geringer Anteil der Berliner über einen Pkw verfügt (ca. 35 %).

#### 4.1.2 Pretest des Erhebungssystems

Im Rahmen zweier Pretests wurde das Erhebungssystem zur Erfassung der Routen (IVR-System) geprüft. Die Pretests wurden im September und Dezember 2003 mit 10 bzw. 15 Teilnehmern durchgeführt.

Im Rahmen der Pretests wurden die folgenden Fragen untersucht:

- Ist das Erhebungssystem für die Erfassung des individuellen Verkehrsverhaltens geeignet?
- Welche Mängel hat es?
- Wie ist die individuelle Belastung durch die Erhebung?
- Wie häufig werden Meldungen/Eingaben vergessen?

Jeder Teilnehmer hatte die Aufgabe, mindestens eine Woche lang sein Verkehrsverhalten mit dem eigenen Mobiltelefon zu dokumentieren. Die getätigten Meldungen wurden aufgezeichnet und ausgewertet. Während des Testzeitraums wurden die Angaben der Probanden über telefonische Interviews validiert. Nach Ende des Teilnahmezeitraums wurden alle Probanden in einer Nachher-Befragung zu Akzeptanz-Aspekten befragt [BLEY, O. (2004)].

#### Ergebnisse

Die Auswertung des ersten Pretests ergab u. a., dass die Hälfte der Teilnehmer eine Verkürzung der Eingabedauer wünscht. Daher wurde für den zweiten Pretest eine Kurzanleitung des Elektronischen

Fragebogens erstellt sowie eine Kurzwahlfunktion integriert.

In der Kurzanleitung war das Verfahren zur Abgabe einer Meldung beschrieben sowie die Menüstruktur des Elektronischen Fragebogens dargestellt. Diese Anleitung in Form eines Faltblattes konnten die Befragten jederzeit mitführen (vgl. Anlage A-2).

Mit Hilfe der Kurzwahl war es möglich, bei Kenntnis der dreistelligen sog. „Action Codes“<sup>4</sup> (z. B. Wegbeginn als Pkw-Fahrer → Action Code 141) auf das Anhören des gesamten Ansagetextes zu verzichten. Dazu wurde der Action Code – getrennt durch ein Sonderzeichen – an die eigentliche Erhebungsrufnummer angehängt. Die Nutzung dieser Funktion war vor allem bei häufig wiederkehrenden Wegen sinnvoll.

Zur Abgabe einer Meldung bestanden somit die folgenden Varianten:

- Die Erhebungsrufnummer wird angerufen, der Ansagetext wird abgehört und die entsprechende Auswahl wird getätigt (Standard-Variante 1).
- Die Erhebungsrufnummer wird angerufen und der (bekannte) Action Code wird nach Annahme des Gesprächs ohne Abhören des Ansagetextes eingegeben (Standard-Variante 2).
- Der (bekannte) Action Code wird an die Erhebungsrufnummer angehängt und diese kombinierte Rufnummer angerufen. Das Erhebungssystem registriert automatisch den Action Code.
- Der Teilnehmer hat die kombinierten Rufnummern im Telefonbuch des Handys gespeichert und wählt sie hierüber aus.
- Die kombinierten Rufnummern befinden sich noch im Speicher der zuletzt gewählten Nummern und können von dort abgerufen werden.

Auf der Basis der Erkenntnisse des ersten Pretests wurden die Probanden des zweiten Pretests insbesondere auf die Verwendung der Kurzwahlfunktion hingewiesen. Die Verwendung der o. g. Eingabevarianten der Erhebungsrufnummer hing neben der geräteabhängigen Menüstruktur des Mobiltelefons auch von den persönlichen Gewohnheiten der Teilnehmer ab.

<sup>4</sup> Der Action Code setzt sich aus drei Ziffern zusammen. Die erste Ziffer gibt den Meldungstyp an (Wegbeginn, Wegende oder Umstieg) und die zweite Ziffer das Verkehrsmittel bei Wegbeginn bzw. den Fahrtzweck am Wegende. Die dritte Ziffer gibt an, ob alle Angaben korrekt sind

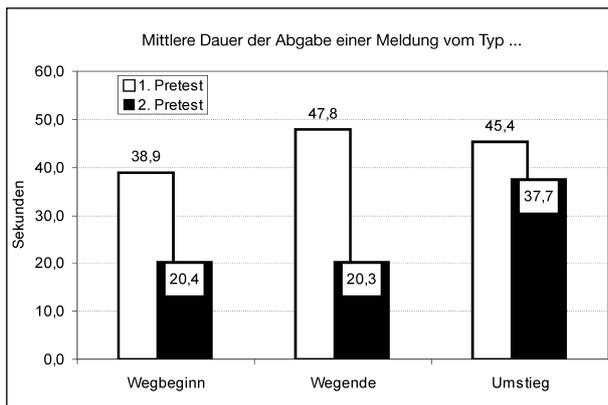
Die deutliche Verkürzung der mittleren Dauern zur Abgabe der verschiedenen Meldungstypen aufgrund dieser Maßnahmen zeigt Bild 4-1. Gleichzeitig wurde ein individueller Gewöhnungseffekt durch häufige Nutzung, der zu einer Verkürzung der Eingabedauer führt, festgestellt.

Die Auswertung der telefonischen Nachher-Befragung zur Akzeptanz des Erhebungssystems bzgl.

- Eingabeaufwand,
- Eingabedauer,
- Verständlichkeit, Logik und Begriffen des Elektronischen Fragebogens

ergab eine hohe Zufriedenheit mit dem System.

Die Validierung des Erhebungssystems lieferte das in Tabelle 4-1 dargestellte Ergebnis.



**Bild 4-1:** Mittlere Dauer der einzelnen Meldungstypen

	absolut	relativ	
<b>zu tätige Meldungen</b>	<b>1.379</b>	<b>100,0 %</b>	
vergessene Meldungen	141	10,2 %	
<b>getätigte Meldungen</b>	<b>1.238</b>	<b>89,8 %</b>	<b>100,0 %</b>
<b>unvollständige oder ungültige Meldungen</b>	<b>68</b>	<b>4,9 %</b>	<b>5,5 %</b>
- davon qualitätsneutrale Ausfälle	20	-	-
- davon technische Ausfälle	22	-	-
- davon „Bedienungsfehler“	26	-	-
falsche Angaben	28	2,0 %	2,3 %
<b>korrekte Meldungen</b>	<b>1.142</b>	<b>82,8 %</b>	<b>92,2 %</b>

**Tab. 4-1:** Datenqualität des IVR-Erhebungssystems

Von den 96 unvollständigen oder ungültigen bzw. fehlerhaften Meldungen konnten 22 durch Plausibilitätskontrollen rekonstruiert und so für die weitere Auswertung verwendet werden.

Ohne genaue Berechnung des Anteils vergessener Wege kann auf Grundlage von 10 % vergessenen Meldungen auf einen sehr geringen Wege-Nonresponse von etwa 5 % geschlossen werden. Dieser Anteil liegt deutlich unter dem bei anderen Erhebungs-/Befragungsformen üblichen Anteil von etwa 10 % bis 14 % [WERMUTH, M. et al. (1984)].

### 4.1.3 Schulung der Interviewer

Zur Durchführung der Interviews wurden vier studentische Hilfskräfte angeworben. Dabei handelte es sich um drei Berliner Studierende und einen Braunschweiger Studenten der Fachrichtung Geographie bzw. Bauingenieurwesen. Alle vier erfüllten die Voraussetzung guter Ortskenntnisse und hatten zum Teil Erfahrungen in der Durchführung von persönlichen Interviews. Die Interviewer wurden an insgesamt fünf ganztägigen Terminen für die Durchführung der Befragungen geschult. Die Schulung erfolgte durch einen erfahrenen wissenschaftlichen Mitarbeiter des Instituts für Verkehr und Stadtbauplanung.

Der erste Termin im Januar 2004 beschäftigte sich mit der persönlichen Ansprache im Rahmen der Rekrutierung von Teilnehmern. Hierin wurden den Interviewern zunächst allgemeine Grundsätze der persönlichen Befragung erläutert und anschließend die konkreten Erhebungsunterlagen zur Rekrutierung (Interviewleitfaden) vorgestellt. Im nächsten Schritt haben alle Interviewer mögliche Gesprächsabläufe simuliert.

In den darauf folgenden zwei Treffen wurden die Grundlagen des geplanten Interviews zur Erhebung der Motive zur Routenwahl vermittelt. Dabei wurde nach der Erläuterung des Untersuchungsziels zunächst Augenmerk auf die Theorie der Routenerfassung (mittels GSM-Ortung) und -berechnung (mittels VISUM) gelegt. Anschließend wurden der Umgang sowie die eigentliche Datenerfassung mit der CAPI-Anwendung detailliert vorgestellt.

Weitere zwei Termine dienten der Übung von Gesprächsabläufen und der exemplarischen Dokumentation von Äußerungen der (Beispiel-)Probanden. Dazu wurden zunächst Beispielfahrten erstellt und unter Teilnahme verschiedener, bis dahin den Interviewern unbekannter Personen simuliert.

## 4.2 Rekrutierung der Teilnehmer

### 4.2.1 Verfahren

Als Teilnehmer für die empirische Untersuchung sollten 100 „geeignete“ Teilnehmer rekrutiert werden. Die Auswahl einer repräsentativen Stichprobe war aufgrund der Zielstellung des Projektes und des Charakters einer Grundlagenstudie nicht erforderlich. Dennoch wurde versucht, einen Teilnehmerkreis zu gewinnen, der geeignet war, verschiedene Verhaltensmuster (von Pkw-Fahrern) abzubilden.

Ein geeigneter Teilnehmer

- war im Stadtgebiet Berlins (oder in der direkten Umgebung) wohnhaft,
- besaß einen Führerschein und hatte einen Pkw ständig verfügbar,
- benutzte seinen Pkw für mindestens eine Fahrt am Tag als Selbstfahrer (im Raum Berlin-Brandenburg),
- besaß entweder ein eigenes Handy bei einem der Netzbetreiber Vodafone oder O<sub>2</sub> oder war zumindest in der Lage, mit einem bereitgestellten Handy zu telefonieren.

Die Beschränkung auf die beiden Netzbetreiber Vodafone und O<sub>2</sub> hing mit den Kosten der GSM-Ortung zusammen. Die Ortungskosten der Netzbetreiber T-Mobile und E-Plus sind erheblich höher als die der gewählten Unternehmen. Da Vodafone und O<sub>2</sub> insgesamt einen Marktanteil von ca. 50 % aufweisen und kein Zusammenhang zwischen Netzbetreiber und Routenwahlverhalten eines Verkehrsteilnehmers angenommen werden kann, war die Beschränkung auf Mobilfunk-Kunden dieser beiden Netzbetreiber aus Sicht des Untersuchungsziels unproblematisch.

Als mögliche Rekrutierungsverfahren standen zur Auswahl:

1. Ziehung einer Zufallsstichprobe von Adressen aus dem Telefonbuch von Berlin (Telefonstichprobe),
2. Ziehung einer Zufallsstichprobe von privaten Pkw-Haltern in Berlin aus dem Zentralen Kraftfahrzeugregister (ZKFZR) des Kraftfahrt-Bundesamtes (KBA),
3. persönliche Ansprache von zufällig ausgewählten Personen auf Anlagen des ruhenden Verkehrs.

Die erste Variante wurde verworfen, da kein Adressregister zugänglich war, aus dem zusätzlich zu den Adressdaten die weiteren Merkmale „Pkw-Verfügbarkeit“ und „Handy-Besitz“ hervorgingen. Da in Berlin beide Merkmale entscheidenden Einfluss auf den Umfang der Auswahlstichprobe haben (nur etwa 35 % der Berliner besitzen mindestens einen Pkw; etwa 50 % der Einwohner sind Mobilfunk-Kunden bei Vodafone und O<sub>2</sub>) kam diese Variante aus Aufwandsgründen nicht in Betracht. Bei diesem Verfahren hätte sich – zusätzlich zu den bereits genannten Einschränkungen – noch der hohe Anteil der nicht stichprobenneutralen Ausfälle in einer Größenordnung von etwa 50 % [ZUMA (2000)<sup>5</sup>], ungünstig ausgewirkt.

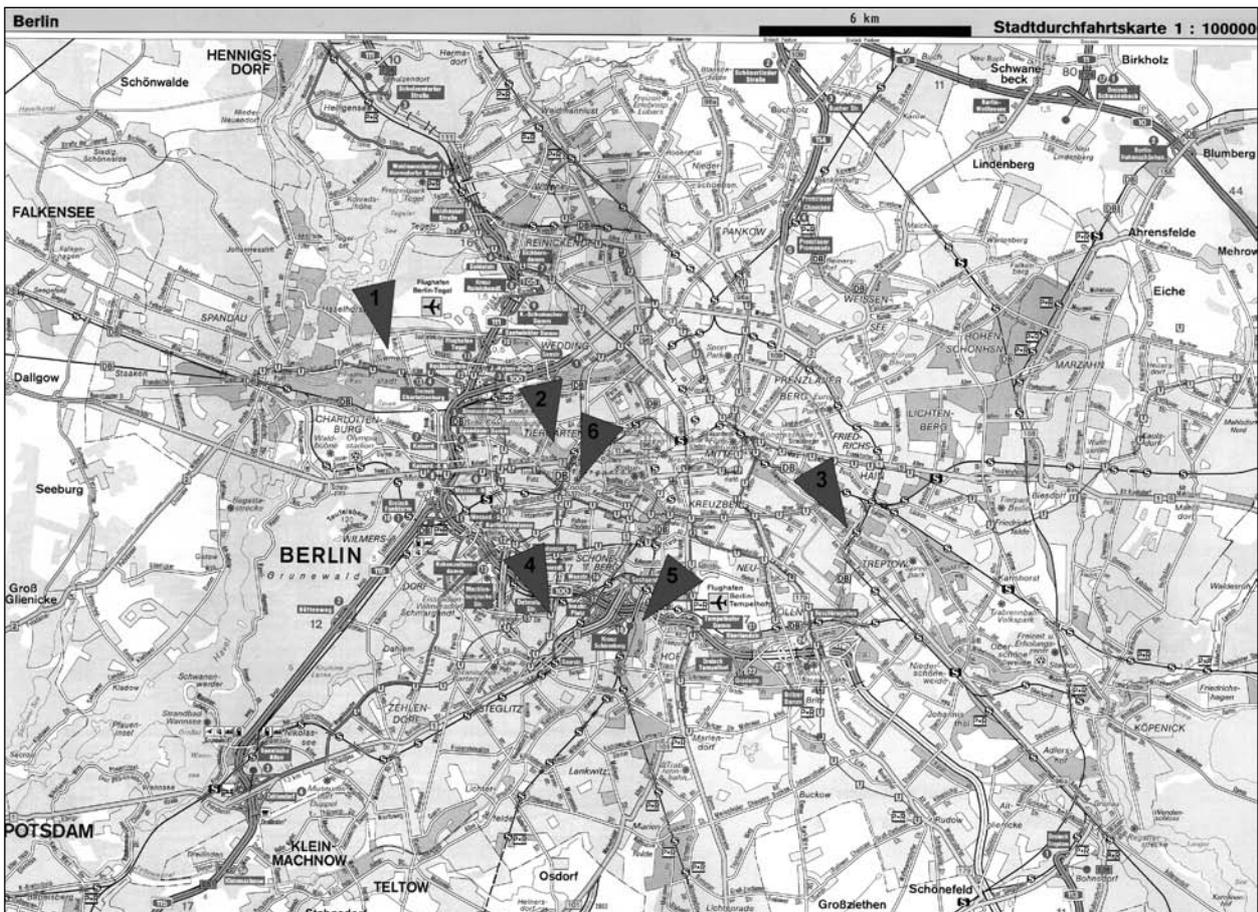
Eine Anfrage beim KBA ergab, dass die Ziehung einer Zufallsstichprobe zwar rechtlich (unter Anwendung des § 38, StVG) und technisch möglich ist, die dafür zu entrichtenden Gebühren jedoch hoch und aufgrund des begrenzten Projektbudgets nicht zu erbringen waren. Die Ziehung wäre darüber hinaus mit einem vergleichsweise langen zeitlichen Vorlauf verbunden gewesen. Auch bei diesem Verfahren zur Ziehung von Anschriften privater Halter von Pkw in Berlin hätte die Auswahlstichprobe aufgrund der Unkenntnis des Merkmals „Handy-Besitz“ vergleichsweise groß sein müssen.

Aus diesen Gründen wurde in Abstimmung mit dem Auftraggeber die dritte Variante – die persönliche Ansprache – gewählt und durchgeführt. Als Vorteile wurden ein geringerer Non-Response-Anteil, die direkte Abfragemöglichkeit der erforderlichen o. g. Merkmale, Adressdaten und Telefonnummern angesehen. Zudem war es möglich, die Rekrutierung zeitlich möglichst kurz vor dem tatsächlichen Beginn des Feldversuchs durchzuführen, um den Anteil der Absagen aufgrund zu langer Wartezeit gering zu halten. Der Aufwand bei diesem Verfahren wurde als angemessen im Verhältnis zum erwarteten Erfolg angesehen.

### 4.2.2 Rekrutierungsorte

Um Pkw-Fahrer zu finden, die möglichst auch Fernstraßen (BAB oder Bundesstraßen) benutzen, wurden Rekrutierungsorte ausgewählt, die am Stadtrand bzw. an Orten mit Fernstraßenbezug lagen.

<sup>5</sup> ZUMA (2000): Telefonstichproben, ZUMA How-to-Reihe, Nr. 6, 2000



**Bild 4-2:** Lage der Rekrutierungsstandorte im Stadtgebiet Berlins

Für die Rekrutierung der Untersuchungspersonen wurden zunächst Parkplätze unterschiedlicher Verkehrserzeuger (Arbeiten, Einkaufen, Ausbildung etc.) ausgewählt, bei denen mit einer großen Anzahl an Pkw zu rechnen war. Neben öffentlichen Anlagen des ruhenden Verkehrs sollten auch privat betriebene Parkflächen (Firmen, Einkaufszentren) aufgesucht werden. Die Unterstützung durch die angesprochenen Firmen/Institutionen war allerdings sehr unterschiedlich. Teilweise wurde keine Erlaubnis zur Durchführung der Rekrutierung auf dem Parkplatzzelände erteilt. Dies galt vor allem für große Konzerne (Verkehrszweck Arbeit). Die Befragungen wurden an den folgenden Orten durchgeführt:

- (1) Firmenparkplatz der SIEMENS AG (öffentlicher Straßenraum, Siemensstadt),
- (2) Parkplatz der TU Berlin (Tiergarten),
- (3) Park-Center (Treptow),
- (4) Stellplätze/Parkgarage Schloßstraße (Steglitz),
- (5) Parkplatz IKEA (Tempelhof),

- (6) Los-Angeles-Platz (Wilmersdorf).

Die Lage der Rekrutierungsorte zeigt Bild 4-2.

#### 4.2.3 Verlauf

Geplant war, an zunächst vier Tagen im Januar 2004 an vier verschiedenen Orten in Berlin die Rekrutierung durchzuführen. An den ersten beiden Rekrutierungstagen wurden von den vier Interviewern insgesamt fast 1.500 Personen angesprochen. Davon erfüllte etwa ein Drittel (ca. 500) die Kriterien für die Teilnahme an der Untersuchung. Hiervon erklärten allerdings lediglich 18 Personen ihre Teilnahmebereitschaft. Obwohl alle Rekrutierungsorte zumindest teilweise überdacht waren (Parkgaragen), war dieses Ergebnis neben dem allgemein geringen Interesse (u. a. aufgrund der hohen Belastung) auch auf das schlechte Wetter (Kälte und Schneefall) zurückzuführen. Daher wurde die Rekrutierung nach Wetterbesserung fortgeführt.

Um die geplante Zahl der Untersuchungsteilnehmer zu erreichen, wurden



Bild 4-3: Aufruf in der BZ vom 31.03.2004

- die Rekrutierungsstandorte um Waschstraßen erweitert (Vorteil: die angesprochene Person ist nicht in andere Aktivitäten eingebunden),
- auf öffentlichen Parkplätzen bzw. im Straßenraum Informationsblätter mit der Bitte um Beteiligung an der Untersuchung an parkenden Fahrzeugen hinterlassen,
- ein Zeitungsaufruf in der BZ („Berlins größte Zeitung“) gestartet (Bild 4-3),
- ein Incentive in Form eines Monatsloses der „Aktion Mensch“ angeboten.

Während der gesamten Dauer der Rekrutierung wurde versucht, über die Ansprache bekannter Berliner Unternehmen geeignete Teilnehmer zu finden.

#### 4.2.4 Ergebnis

Zusammenfassend muss ein eher geringer Erfolg der als Haupt-Rekrutierungsverfahren gewählten persönlichen Ansprache festgestellt werden. Ein sehr geringer Anteil teilnahmebereiter Personen stand einem im Verhältnis dazu hohen Aufwand (Personal und Zeit) gegenüber.

Die Ergänzung der Maßnahmen durch die Ausweitung auf Waschstraßen sowie das Verteilen von Flugblättern erbrachten keine Steigerung des Rekrutierungserfolgs. Auswirkungen aufgrund des Angebotes eines Incentives konnten nicht festgestellt werden.

Größeren Erfolg brachte die Ansprache bekannter Berliner Unternehmen. Auch war der Zeitungsaufruf, der am Mittwoch, 31.03. und am Sonntag, 04.04.2004 veröffentlicht wurde, erfolgreich.

	Teilnahmebereite Personen	Teilnehmer bis Ende
Persönliche Ansprache	42	15
Zeitungsaufruf	23	13
Berliner Unternehmen	48	46
Gesamt	113	74

Tab. 4-2 : Rekrutierungserfolg

Tabelle 4-2 zeigt die Anzahl der durch die verschiedenen Maßnahmen rekrutierten Teilnehmer. Vor allem die Anzahl der durch persönliche Ansprache rekrutierten Teilnehmer reduzierte sich vor Beginn bzw. während der Untersuchung aus verschiedenen Gründen. Die Anzahl der Personen, die an der Untersuchung tatsächlich teilgenommen haben, ist in der Spalte „Teilnehmer bis Ende“ ablesbar.

## 4.3 Versuchsablauf

### 4.3.1 Einrichtung der Teilnehmer

Von jeder teilnahmebereiten Person wurden vor Beginn des Untersuchungszeitraums (in den meisten Fällen im Rahmen einer telefonischen Kontaktaufnahme) die folgenden Daten erhoben:

- Name, Vorname,
- Postanschrift,
- Mobilfunknummer (MSISDN) und Netzbetreiber,
- ggf. weitere Kontaktmöglichkeiten (Festnetz-Rufnummer, Fax-Nummer, E-Mail-Adresse).

Die MSISDN der Teilnehmer wurden mit einer UserID versehen und durch die Eintragung in eine sog. „white list“ zunächst für die Nutzung des IVR-Erhebungssystems registriert.

Anschließend erhielten die Teilnehmer auf dem Postweg ein Informationsschreiben mit einer Kurzanleitung sowie einem Formular „Einverständniserklärung“ (Anlagen A-2 und A-3).

Die Einverständniserklärung diente der Autorisierung der ivu AG, die notwendigen Ortungsdaten des jeweiligen Mobilfunkanschlusses beim Netzbetreiber anzufordern und im Rahmen des Projektes zu verwenden. Das unterschriebene Formular sollte in einem frankierten Rückumschlag oder per Fax vor Beginn des Untersuchungszeitraums an die ivu AG zurückgesendet werden.

Aus vertraglichen Gründen zwischen der ivu AG und den Netzbetreibern war es zwingend erforder-

lich, dass sich die ivu AG vor der Ortung einer Person zweifelsfrei versichert, dass die geortete MSISDN auch tatsächlich der für die Untersuchungsteilnahme registrierten Person „gehört“. Um diesen Nachweis zu erbringen, gab es abhängig vom Netzbetreiber zwei Varianten:

- Kunden des Netzbetreibers Vodafone mussten vor Beginn des Teilnahmezeitraums eine (kostenpflichtige) „Aktivierungs-SMS“ definierten Inhalts an eine vorgegebene Rufnummer des Netzbetreibers senden. Um die Funktionalität der Ortbarkeit des Handys wieder zu deaktivieren, musste am Ende des Teilnahmezeitraums wiederum eine SMS gesendet werden.
- Kunden von O<sub>2</sub> sollten als Authentifizierung einen „eindeutigen Nachweis“ z. B. in Form der letzten (schriftlichen) Gebührenabrechnung erbringen. Dieser Nachweis war ebenfalls vor Beginn des Teilnahmezeitraums bei der ivu AG einzureichen. Hierbei war zudem darauf zu achten, dass aufgrund der genauen Kontrolle ein zeitlicher Vorlauf von drei Werktagen einzuhalten war.

Nach der Bestätigung der Registrierung eines Teilnehmers war dieser für die Teilnahme eingerichtet.

Spätestens am letzten Tag vor Beginn des eigentlichen Untersuchungszeitraums hat sich der zugewiesene Betreuer telefonisch beim Erhebungsteilnehmer gemeldet, das weitere Vorgehen (Durchführung von Interviews) erläutert und den ersten Interviewtermin abgestimmt.

Die Probanden wurden instruiert, beginnend mit der ersten Fahrt am Montag der jeweiligen Untersuchungswoche, ihr Handy zur Dokumentation eigener Wege zu verwenden. Die Anrufe wurden registriert und gemäß dem in den Kapiteln 3.3.1 bis 3.3.3 beschriebenen Verfahren verarbeitet und als Grundlage für die Nutzung im CAPI-Interview aufbereitet. An jedem zweiten Untersuchungstag (Dienstag, Donnerstag, Montag) wurden die Interviews zu den bis dahin verarbeiteten Wegen durchgeführt. Falls seit dem letzten Interview keine neuen Routen erkennbar waren (z. B. bei Teilnehmern, die lediglich Fahrten zur Arbeit und zurück tätigten), wurde dieser Umstand den Probanden telefonisch mitgeteilt und auf ein Interview verzichtet.

Nach Ablauf der Untersuchungswoche wurden im Rahmen einer telefonischen Danksagung die fol-

genden weiteren personenbezogenen Daten erhoben:

- Geburtsjahr,
- Erwerbstätigkeit,
- geschätzte wöchentliche Fahrleistung als Pkw-Fahrer,
- Verfügbarkeit eines Navigationssystems im Pkw,
- Lebensdauer am derzeitigen Wohnstandort.

#### 4.3.2 Technisches System „RouteTracer“

Das im Feldversuch eingesetzte technische System („RouteTracer“) wurde aus einem Prototyp des Forschungsprojektes TeleTravel Services [WERMUTH, M. et al. (2003)] weiterentwickelt und hatte folgende Aufgaben:

- Abfrage und Auswertung der Nutzereingaben (Interviewdaten der Probanden) via IVR-System,
- Ortung der Mobiltelefone der Probanden und Bestimmung der gefahrenen Routen auf Basis der GSM-Ortung,
- Ermittlung der Routen aus Umlegungsmodellen (VISUM),
- Generierung statistischer Informationen,
- Zusammenführung der Daten,
- kartografische Darstellung,
- Versand der Informationen an das IVS zum Zweck der Interviewdurchführung und weitergehenden Auswertung.

Die Grundlage dieses Systems bildete der o. g. Prototyp, der bereits über die Grundfunktionen zur Kommunikation (IVR), GSM-Ortung und Routenidentifikation verfügte. Die Funktionalitäten waren in diesem Prototyp für eine geringe Anzahl gleichzeitig aktiver Probanden sowie insbesondere für kurze Routen (Staubereiche) auf Autobahnen und Bundesstraßen ausgelegt. Der Prototyp diente im benannten Forschungsprojekt der automatischen Generierung von Staumeldungen (von im Wesentlichen auf der Gegenfahrbahn an einem Stau vorbeifahrenden Kfz-Fahrern) im Rahmen des ADAC-Staumeldedienstes.

Für das aktuelle Projekt sollte die Software – sofern notwendig – an die Gegebenheit der Identifikation längerer Routen von Kfz-Fahrern auf dem Haupt-

verkehrsstraßennetz angepasst werden. Hierzu wurden zunächst die softwaretechnischen Voraussetzungen zur funktionalen Erweiterung (z. B. statistische Informationen) sowie zur Sicherstellung eines stabilen Betriebs auch bei erhöhter Belastung geschaffen. Hierzu wurde eine Weiterentwicklung des Systems auf Basis der Microsoft .NET-Entwicklungsumgebung vorgenommen, da dies die effizienteste Grundlage für funktionale und technische Erweiterungen versprach. Als Ergebnis des Feldversuchs muss jedoch festgestellt werden, dass dieser Plattformwechsel eine Reihe technischer Probleme aufwarf, die durch vorgenommene Optimierungen während der Projektlaufzeit zwar deutlich verringert und in ihren negativen Wirkungen beschränkt, jedoch weder hinreichend begrenzt noch beseitigt werden konnten.

Die größte Herausforderung an das Erhebungssystem stellte die Bestimmung der gefahrenen Routen der Verkehrsteilnehmer auf Basis der GSM-Ortung mittels Routenidentifikation dar. Der ursprüngliche Ansatz, die Routen bereits während der Fahrt der Probanden – quasi in Echtzeit – zu bestimmen, musste aufgrund zu großer Laufzeiten der Implementation zugunsten einer Nachberechnung im Anschluss an den Feldversuch verworfen werden.

Die Ursachen hierfür sind an zwei Stellen zu suchen:

#### 1. Software-Engineering

Einerseits war die prototypische Implementation aus dem o. g. Forschungsprojekt auf die Bestimmung vergleichsweise kurzer Routen ausgelegt. Die in diesem Projekt gegenüber den „Stau-Routen“ des Staumeldedienstes deutlich längeren Routen führten zu einem Anwachsen des zu verarbeitenden Datenvolumens, das vom weiterentwickelten Prototyp nur begrenzt bewältigt werden konnte. Softwareseitig besteht demnach ein deutlicher Forschungsbedarf zur Beantwortung der Frage, mit welchen Algorithmen die Routenidentifikation effizienter für produktive Systeme umgesetzt werden kann. Am Prototyp „ADAC-Staumeldedienst“ [WERMUTH, M. et al. (2003)] konnte die grundsätzliche Eignung der Algorithmen zur Routenidentifikation empirisch nachgewiesen werden,

der Schritt zu einem produktiven System muss nun jedoch durch weitere Software-Entwicklungsarbeit erfolgen.

#### 2. Heuristische Annahmen

Für die Machbarkeit der Bestimmung von GSM-Routen in Echtzeit ist es notwendig, geeignete heuristische Annahmen zu formulieren und zu testen, die zwar den Lösungsraum geeignet einschränken und irrelevante Lösungen verhindern. Damit sollte es möglich sein, nicht weiter zu verfolgende Teillösungen frühzeitig zu identifizieren und somit die signifikant zu großen Laufzeiten zu verkürzen. Derartige Annahmen wurden bereits bei der Entwicklung und Validierung des Verfahrens der Routenidentifikation als notwendige Weiterentwicklung herausgearbeitet und angewendet [KOHLEN, R. (2003/1)]. Wenngleich die Projektziele primär auf die Datengenerierung und nur untergeordnet auf die Weiterentwicklung des Instrumentariums gerichtet waren, muss der hier aufgezeigte Bedarf an theoretischer und empirischer Forschung als ein wesentliches Ergebnis dieses Projekts gesehen werden.

#### Fazit

Es besteht noch deutlicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf, um das Routenidentifikationsverfahren in einem produktiven System nutzen zu können.

Das System „RouteTracer“ war annähernd 80 % der Laufzeit verfügbar<sup>6</sup>, aufgrund durchschnittlich zweier täglicher Systemausfälle vor allem in den Hauptverkehrszeiten (Morgen- und Abendspitze) entstand durch die benannten Probleme jedoch ein erheblicher Datenverlust.

Aufgrund der Systemausfälle konnten mit dem weiterentwickelten Prototyp nur ca. 60 % aller Routen (vollständig) erfasst und verarbeitet werden (genauere Angaben enthält Kapitel 5.2.2.). Für alle anderen Routen stehen ausschließlich die Daten des IVR-Systems sowie die unvollständigen Ortungsdaten für die weitere Auswertung zur Verfügung.

Der Feldversuch hat gezeigt, dass eine Verkehrserhebung mit Routenbestimmung signifikant höhere Anforderungen an das jeweilige Erhebungssystem stellt. Diese Erfahrungen sollten genutzt werden, eine gezielte Weiterentwicklung des Instrumentariums vorzunehmen.

<sup>6</sup> Insgesamt dauerte der Feldversuch 7 Wochen à 5 Tage à 24 Stunden = 840 Stunden. Zweifelsfrei nachvollziehbar sind insgesamt 169,4 Stunden protokolliert, in denen das System ausgefallen war

### 4.3.3 GPS-Routenerfassung

In jeder Untersuchungswelle hat ein Proband ein bereitgestelltes GPS-Gerät mitgeführt. Die damit verorteten Routen dieser Probanden wurden zur Validierung der GSM-Routen herangezogen.

## 4.4 Erfahrungen und Erkenntnisse

### 4.4.1 Interview zur Erhebung der Motive zur Routenwahl

Die Auswahl der Befragungsmethode „computer-gestütztes persönliches Interview (CAPI)“ erwies sich als vorteilhaft für den Verlauf der Untersuchung. Auch wenn dazu vorab ein hoher Programmier- und Testaufwand zu bewältigen war, überwiegen die Vorteile. Allerdings haben die Interviewer nach Ende der Untersuchung angegeben, dass v. a. bei Abweichungen zwischen tatsächlicher und mit VISUM berechneter Route die Kartendarstellung trotz Vergrößerungs-Funktion in vielen Fällen nicht ausreichte. Daher war eine aktuelle Straßenkarte als Hilfsmittel bei der Befragung unverzichtbar, um die tatsächlich gefahrenen Routen eindeutig feststellen zu können.

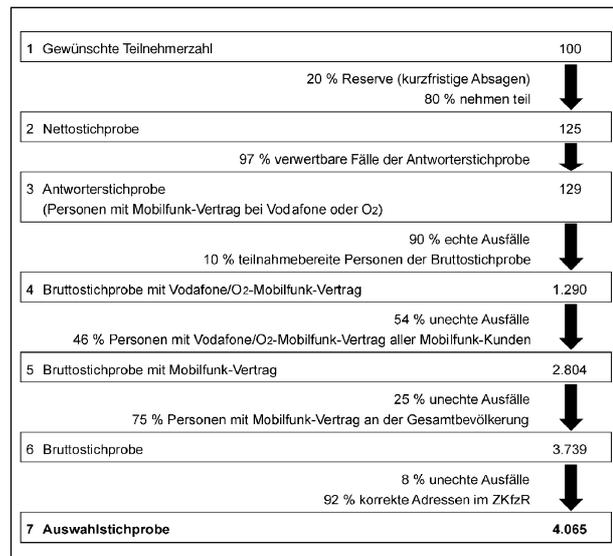
### 4.4.2 Anforderungen an die Interviewer

Die Interviewer waren drei Berliner Studierende und ein Braunschweiger Student der Fachrichtung Geographie bzw. Bauingenieurwesen. Alle vier erfüllten die Voraussetzung guter Ortskenntnisse und hatten zum Teil Erfahrungen in der Durchführung von persönlichen Interviews (vgl. Kapitel 4.1.3).

Drei der vier Interviewer hatten keinen eigenen Pkw zur Verfügung und waren ausschließlich mit öffentlichen Verkehrsmitteln unterwegs. Sie gaben nach Ablauf der Untersuchung an, dass sie teilweise Probleme mit der Sicht- und Denkweise von Autofahrern hatten. Außerdem war es teilweise sehr zeitaufwändig, zu den Teilnehmern zu gelangen, da diese oft am Stadtrand bzw. in Wohngebieten mit eingeschränktem ÖPNV-Angebot wohnten. Um diese Probleme zu vermeiden, sollte bei ähnlichen Fragestellungen künftig versucht werden, Interviewer zu gewinnen, die selbst einen Pkw zur Verfügung haben. Negative Auswirkungen auf die Untersuchungsergebnisse konnten jedoch nicht festgestellt werden.

### 4.4.3 Rekrutierung

Die Rekrutierung von Untersuchungsteilnehmern gestaltete sich äußerst schwierig. Trotz diverser



**Bild 4-4:** Bestimmung des Umfangs einer Auswahlstichprobe bei Ziehung aus dem ZKfzR

frühzeitig durchgeführter Maßnahmen konnten nur 74 statt der geplanten 100 Teilnehmer bis zum Ende der Untersuchung gewonnen werden.

In der Rückschau wird vermutet, dass – unter der Voraussetzung, keine repräsentative Stichprobe zu benötigen – mehrere Zeitaufrufe möglicherweise schneller zum Ziel geführt hätten.

Für künftige Untersuchungen lässt sich zudem feststellen, dass auch für repräsentative Stichproben die Ziehung einer Zufallsstichprobe über das Zentrale Kraftfahrzeugregister (ZKfzR) des Kraftfahrt-Bundesamtes und eine anschließende postalische Rekrutierung zielführend sind. Dabei sind jedoch folgende Punkte zu beachten:

- Die Ziehung über das ZKfzR bedarf eines zeitlichen Vorlaufs, da die Ziehung aktueller Adressen nur zu bestimmten Terminen möglich ist.
- Der Umfang der Auswahlstichprobe ist vorab sehr sorgfältig zu bestimmen, da Ziehungen zur Aufstockung zeitlichen und finanziellen Aufwands nach sich ziehen.

Bild 4-4 zeigt beispielhaft die Kalkulation der Auswahlstichprobe für den Fall der Anwendung dieses Verfahrens in diesem Projekt.

### 4.4.4 Organisation und Betreuung

Aufgrund der Tatsache, dass die Untersuchungsteilnehmer nicht als Gesamtheit vor Beginn des Feldversuchs rekrutiert werden konnten, war es notwendig, auch während des Versuchs weitere

Anstrengungen zu unternehmen, Teilnehmer zu finden. Mit diesem Bemühen ging ein sehr hoher Organisations- und Betreuungsaufwand einher.

Zunächst musste Kontakt zu potenziellen Teilnehmern aufgenommen werden (zumeist telefonisch). Nach Bestätigung der Teilnahmebereitschaft erhielten die Personen entweder auf postalischem Weg oder ggf. per Fax ein Schreiben mit Hinweisen zur Untersuchung, inklusive eines Formulars „Einverständniserklärung“ (vgl. Kapitel 4.3.1) sowie einer Kurzanleitung. Um den Vorgang der Registrierung wie beschrieben durchführen zu können, war es notwendig, dass die unterschriebene Einverständniserklärung sowie ggf. das Nachweisdokument der O2-Kunden (vgl. Kapitel 4.3.1) spätestens drei Werktage vor Beginn des geplanten Teilnahmezeitraums bei der IVU AG vorlagen.

Diese sehr hohen Anforderungen der Netzbetreiber haben bewirkt, dass einige Personen trotz generellen Interesses nicht am Versuch teilgenommen haben, bzw. nicht rechtzeitig für eine Teilnahme freigeschaltet wurden.

Das Verfahren der Authentifizierung der O2-Kunden über die Vorlage der letzten schriftlichen Rechnung wurde entgegen den Erwartungen nicht grundsätzlich negativ aufgenommen. Ein hohes Interesse der Probanden hat nur zu geringen Ausfällen aufgrund dieser Voraussetzung geführt. Dennoch sollte dieses Verfahren künftig nicht weiter verfolgt werden, um Aufwände auf Seiten der Probanden zu vermeiden.

Das als „einfacher“ eingeschätzte Verfahren zur Authentifizierung der Vodafone-Kunden (Versand einer kostenpflichtigen SMS definierten Inhalts, vgl. Kapitel 4.3.1) erwies sich ebenfalls als fehleranfällig. Einige Probanden haben den zu versendenden Text (auch nach mehrmaliger telefonischer Unterstützung) falsch eingegeben, bei anderen wurde eine Freischaltung der Ortungsfunktion seitens Vodafone aus unbekanntem Gründen verweigert. Teilweise konnten diese Personen dennoch mit einem leihweise bereitgestellten Handy am Versuch teilnehmen, welches den Personen kurzfristig persönlich überbracht oder zugesandt wurde. Am Ende des Versuchs mussten die Probanden über eine weitere kostenpflichtige SMS die Ortungsfunktion wieder deaktivieren.

Für künftige Untersuchungen sind daher dringend Authentifizierungsmechanismen zu konzipieren, die auch eine kurzfristige Einrichtung eines Teilneh-

mers möglich machen und generell die Belastung des Probanden reduzieren. Es sei in diesem Zusammenhang die generelle Frage gestellt, ob die Vorgaben der Mobilfunkbetreiber für Service-Provider möglicherweise die Entwicklung bestimmter ortsbezogener Dienste bremsen, wenn nicht gar verhindern.

#### 4.4.5 Technisches System „Route Tracer“

Eine Online-Ausgabe der aufgrund GSM-Ortungsergebnissen ermittelten Routen war mit der in diesem Projekt eingesetzten Implementation nicht möglich. Aufgrund des komplexen Algorithmus zur Routenermittlung ergab sich ein zu großer Rechenaufwand, um die erfassten Routen zeitnah bereitstellen zu können.

Die angestrebte Ausgabe der GSM-Routen spätestens eine Stunde nach Beendigung der Fahrt konnte nicht eingehalten werden. Die Berechnung der Routen dauerte sogar so lange, dass während des Versuchs eine alternative Versuchsdurchführung zum Einsatz kam, bei der anstelle der geplanten GSM-Routen, VISUM-Routen berechnet wurden, um diese den Testpersonen zum Abgleich vorzulegen (vgl. Kapitel 3.1). Die Berechnung der VISUM-Routen war relativ zeitnah möglich, wenngleich hier das Problem bestand, dass nur dreimal pro Tag eine Umlegung gerechnet wurde und infolgedessen auch hier oftmals eine Bereitstellung einer kartografischen Abbildung zur Vorlage beim Teilnehmer nicht innerhalb des gleichen Tages möglich war.

Die GSM-Routen wurden nach Beendigung des eigentlichen Feldversuchs offline berechnet und um 4 Monate nach Ende des Feldversuchs zeitversetzt zur Auswertung nachgeliefert.

## 5 Ergebnisse der Untersuchung

### 5.1 Ziele und Rahmenbedingungen

Ziel der Auswertung war die Analyse individueller Entscheidungskriterien bei der Routenwahl von Pkw-Fahrten, insbesondere die Frage danach, ob neben der Reisezeit, die i. Allg. als wichtigstes Entscheidungskriterium angesehen wird, weitere Kriterien eine Rolle spielen. Besonders die Möglichkeit, individuelle Motive in einen Zusammenhang mit einzelnen Routen zu bringen, sollte weiterführende Erkenntnisse liefern. Diese Erkenntnisse

sind u. a. für die Frage interessant, ob es ggf. Ansatzpunkte für eine Weiterentwicklung von Routenwahlmodellen gibt.

Zu diesem Zweck sollten die Untersuchungsteilnehmer auf Grundlage grafisch dargestellter Routen ihre „tatsächlich“ gefahrene Route identifizieren und zu jeder Route verschiedene Fragen beantworten (vgl. Kapitel 3.3.4). „Tatsächlich“ bedeutet, dass die grafisch dargestellte Route möglichst genau mit der tatsächlich gefahrenen Route übereinstimmte. Abweichungen im Start- und Zielgebiet einer Fahrt waren durch Ungenauigkeiten der GSM-Ortung sowie durch die Verwendung eines (abstrahierten) Netzmodells bei der Routenberechnung unvermeidbar. Es war nicht Aufgabe, die Qualität der Ergebnisse der verwendeten Routenberechnungsalgorithmen des Programmsystems VISUM zu überprüfen.

Aufgrund technischer Randbedingungen (Kapitel 4.3.2) war es notwendig, als Grundlage für die durchgeführten Interviews grafische Darstellungen von Routen, die mit dem Programmsystem VISUM berechnet wurden, heranzuziehen.

Dieses Kapitel ist wie folgt gegliedert:

Zunächst wird die für die Auswertungen zugrunde liegende Datenbasis beschrieben. Im Anschluss daran werden die verwertbaren Daten in Form von Mengengerüsten dargestellt. Da mit der Datenaufbereitung und Plausibilitätsprüfung ein erheblicher Bearbeitungsaufwand verbunden war, werden einzelne Maßnahmen dieses Arbeitspaketes in einem eigenen Abschnitt beschrieben.

Der wesentliche Teil dieses Kapitels enthält die Auswertungen der Merkmale, wie sie im Untersuchungskonzept festgelegt wurden. Die in Form von Tabellen und Grafiken dargestellten Ergebnisse werden interpretiert. Hauptaugenmerk gilt den Motiven bei der Wahl einer Route.

Das Kapitel wird abgeschlossen mit einer zusammenfassenden Beurteilung der Ergebnisse im Hinblick auf die im Untersuchungskonzept beschriebenen forschungsleitenden Hypothesen.

## 5.2 Datenbasis und Mengengerüst

Ausgewertet wurden alle von den Untersuchungsteilnehmern mittels Handy berichteten Teilwege als Pkw-Fahrer. Für die Auswertung wurde ein SPSS<sup>7</sup>-Datensatz auf Grundlage der folgenden Komponenten erstellt:

- Routen-Datensätze zu jedem Weg (mit mind. einem Teilweg als Pkw-Fahrer),
- Angaben aus persönlichen Interviews (CAPI-Daten).

### 5.2.1 Routen-Datensatz

Ein Routen-Datensatz wurde für jeden Weg (mit mindestens einem Teilweg als Pkw-Fahrer), der am IVR-System registriert wurde, erstellt (vgl. Kapitel 3.3.1). Für Wege, die keinen Teilweg als Pkw-Fahrer enthielten, wurde entsprechend kein Routen-Datensatz erstellt. Der Routen-Datensatz enthält die folgenden Daten:

- Merkmale eines Weges bzw. Teilweges (Verkehrsmittel, Fahrtzweck u. a.),
- die mit dem Programmsystem VISUM berechnete(n) „Modellroute(n)“,
- kartografische Darstellungen der GSM- und der VISUM-Route(n),
- statistische Routen-Informationen für die GSM- und Modellroute(n), nämlich die Gesamtlänge der Fahrt, die Reisezeit gemäß Anrufprotokoll, die Längenanteile der befahrenen Streckentypen [%], die Luftlinienentfernung zwischen Start- und Ziel.

Die Daten der IVR-Protokolldatei, die Karten sowie die Angaben zu den GSM- und den Modellrouten sollten einschließlich der statistischen Routen-Informationen in einem Gesamt-Datensatz je Weg zusammengefasst werden.

Jeder Bericht im xml-Format wurde mit Hilfe einer eigenen Software ausgelesen und die relevanten Daten des Berichts zunächst in SQL-Datenbanken geschrieben. Nach Abschluss der Erhebung wurden daraus wiederum alle verwertbaren Daten ausgelesen und in den SPSS-Datensatz übernommen.

Insgesamt wurden die Daten von 649 Routen-Datensätzen in den SPSS-Datensatz übernommen. Für routenbezogene Auswertungen wurden nur die vom Untersuchungsteilnehmer als „korrekt“ erkannte Routen herangezogen. Dabei handelte es sich um 198 Fälle.

<sup>7</sup> SPSS: Statistical Package for the Social Sciences, Ver. 12.0, SPSS Inc., Chicago 2003

### 5.2.2 CAPI-Daten

Unter Verwendung einer eigens entwickelten CAPI-Oberfläche (vgl. Kapitel 3.3.4) wurden zu jedem Teilweg als Pkw-Fahrer (zu dem mindestens eine VISUM-Route berechnet wurde) Daten in einem persönlichen Interview erhoben. Die darin enthaltenen Fragen zielten dabei vor allem auf die Entscheidungskriterien bei der Routenwahl. Die im Interview erhobenen Daten wurden zunächst im Notebook des Interviewers gespeichert und täglich über ein Datenabgleich-Programm in die SQL-Datenbanken übertragen. Nach Abschluss der Erhebung wurden daraus wiederum die verwertbaren Daten ausgelesen und in den SPSS-Datensatz übernommen.

Der für die Auswertung bereitstehende SPSS-Datensatz enthielt somit sowohl quantitativ (z. B. Reisedauer, Reisedauer) als auch qualitativ kategorisierte Merkmale (z. B. Motive der Routenwahl). Diese wurden vor allem durch Auszählung in Form von Häufigkeiten oder Kreuztabellen ausgewertet. Für einzelne (quantitative) Merkmale wurden Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktionen ermittelt.

### 5.2.3 Probanden

Der Feldversuch wurde vom 15.03. bis 30.04.2004 über einen Zeitraum von sieben Wochen durchgeführt. An der Studie nahmen 74 verschiedene Teilnehmer, z. T. über mehrere Wochen teil. Diese Teilnehmer absolvierten insgesamt 88 „Personenwochen“.

Die Probanden waren überwiegend männliche Vollzeit-Erwerbstätige der Altersgruppe von 26 bis 45 Jahren. Die detaillierte Zusammensetzung der Stichprobe hinsichtlich der Merkmale Geschlecht, Erwerbstätigkeit und Alter ist in Tabelle 5-1 ablesbar.

	Erwerbstätig (Vollzeit)	Erwerbstätig (Teilzeit)	Student	Rentner	Insgesamt
weiblich	17	4	8	0	29
18-25	2	1	5	0	8
26-45	11	2	3	0	16
46-65	4	1	0	0	5
männlich	39	1	4	1	45
18-25	0	1	2	0	3
26-45	24	0	2	0	26
46-65	15	0	0	1	16
Insgesamt	56	5	12	1	74

Tab. 5-1: Verteilung der Merkmale Geschlecht, Erwerbstätigkeit und Alter in der untersuchten Stichprobe

### 5.2.4 Routen

Jeder Teilnehmer sollte an fünf aufeinander folgenden Werktagen (montags bis freitags) an der Untersuchung teilnehmen. Bei jedem Weg, den die Person zu Fuß oder mit einem Fahrzeug unternahm, sollte mit Hilfe des eigenen Handys beim Start eines jeden Weges das benutzte Verkehrsmittel und am Ende die Tätigkeit am Ziel angegeben werden (zum Verfahren vgl. Kapitel 3.3.1). Verkehrsmittelwechsel (Umstiege) waren ebenso zu dokumentieren.

Die Teilnehmer erhielten den Hinweis, dass vor allem die Pkw-Fahrten von besonderer Bedeutung für die Untersuchung seien, sodass hier von einer hohen Erfassungsquote ausgegangen werden kann. Tabelle 5-2 zeigt die Anzahl der Teilnehmer in den einzelnen Untersuchungswochen und die Anzahl der am IVR-System registrierten Teilwege. Der große Anteil an Teilwegen als Pkw-Fahrer ergibt sich daraus, dass

- im Hinblick auf das Untersuchungsziel v. a. Pkw-Fahrer rekrutiert wurden,
- sich in der Probandengruppe 3 Vielfahrer befanden,
- Teilnehmer mit dem o. g. Hinweis ggf. vermehrt diese Fahrten berichtet haben.

Die Auswertung erfolgte anhand der IVR-Protokoll-datei. Als auswertungsrelevante Teilwege wurden (unabhängig von Verkehrsmittel und Fahrtzweck) alle Meldungsabfolgen der folgenden Liste gewertet:

- Wegbeginn – Wegende,
- Wegbeginn – Umstieg,
- Umstieg – Umstieg,
- Umstieg – Wegende.

Welle	Teilnehmer	Zu Fuß	Fahrrad	ÖV	Pkw-Fahrer	Pkw-Mitfahrer	Sonstiges	Gesamt
1	9	12	0	6	141	2	0	161
2	12	18	2	12	193	5	0	230
3	18	61	10	27	289	14	0	401
4	7	0	0	0	54	1	0	55
5	11	0	0	6	120	8	0	134
6	17	9	2	1	256	8	0	276
7	14	17	15	5	260	9	3	309
Gesamt	88	117	29	57	1.313	47	3	1.566

**Tab. 5-2:** Besetzung der Untersuchungswellen und Anzahl der am IVR-System registrierten Teilwege

Bei unvollständiger oder ungültiger Eingabe wurde ein Teilweg nicht gezählt.

Die Plausibilität dieser Zahlen wurde anhand der Berechnung der durchschnittlichen täglichen Wegehäufigkeit geprüft. Diese betrug durchschnittlich 3,7 Wege/Tag und entspricht somit üblichen Werten.

Die Bruttostichprobe umfasst nach Tabelle 5-2 1.313 Pkw-Fahrten. Dieser Stichprobenumfang reduzierte sich jedoch um

- 141 Fälle (10,7 %) aufgrund Totalausfall der Software zur Routenidentifikation („Route Tracer“, vgl. Kapitel 4.3.2) während der ersten Welle,
- 252 Fälle (19,2 %) durch weitere technische Ausfälle während des Feldversuchs,
- 167 Fälle (12,7 %), für die keine VISUM-Route berechnet wurde,
- 52 Fahrten mit gleichem Start- und Zielbezirk („Binnenverkehr“), für die keine Routen berechnet werden können,
- 49 Fälle, die im Interview nicht berücksichtigt wurden (z. B. Datensätze, die nach dem Abschlussinterview ausgeliefert wurden; wiederholt getätigte Fahrten von Vielfahrern, die aus Zeitgründen nicht berücksichtigt wurden),
- 3 Fälle aufgrund Plausibilitätsprüfungen.

Insgesamt stand somit eine Nettostichprobe von 649 Pkw-Fahrten (49,4 % verwertbare Fälle) für die Auswertung zur Verfügung. Für 582 Fälle wurde auch ein Interview durchgeführt.

Ausdrücklich sei nochmals darauf hingewiesen, dass die starke Reduktion der Bruttostichprobe vor allem auf die große Instabilität der Software zur Routenidentifikation zurückzuführen war (84 % aller Ausfälle).

Die folgenden Auswertungen beziehen sich, sofern nicht anders angegeben, auf die Nettostichprobe von 649 Routen-Datensätzen bzw. 582 Interviews.

## 5.3 Datenaufbereitung und Plausibilitätsprüfung

### 5.3.1 Überprüfung der Wegedaten und Ergänzung fehlender Datensätze

Anhand der Protokolldatei mit allen Anrufen der registrierten Untersuchungsteilnehmer (IVR-Log) wurden Wege validiert und fehlende Datensätze ergänzt. Die IVR-Daten liegen in Form einer Datei im Excel-Format vor.

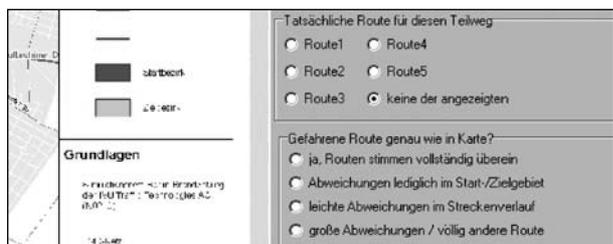
Relevante Daten des IVR-Logs sind

- die eindeutige Nutzer- und Fahrtenkennung („ID“),
- das Verkehrsmittel,
- die Start- und Endzeit eines jeden Teilweges,
- der Fahrtzweck.

### 5.3.2 Korrektur fehlender Angaben zur Routenübereinstimmung

Sofern eine Karte für einen Teilweg als Pkw-Fahrer vorlag, wurde der Proband gefragt, ob bzw. welche der dargestellten VISUM-Routen der tatsächlich gefahrenen Route entspricht. Maximal waren auf einer Karte fünf Routen dargestellt. Der Interviewer sollte die tatsächlich gefahrene Route dokumentieren (Bild 5-1).

Die Codierung sah dementsprechend die Ausprägungen 1 bis 5 vor sowie die 0 für den Fall, dass keine Übereinstimmung zwischen berechneter und tatsächlich gefahrener Route bestand. Die 0 war jedoch gleichzeitig der voreingestellte Standardwert. Daher konnte zunächst nicht zwischen der explizit-



**Bild 5-1:** Ausschnitt aus der CAPI-Oberfläche (Programmfenster „Tatsächliche Route“)

ten Auswahl von „keine der angezeigten Routen“ und „keine Angabe“ unterschieden werden.

Der Wert 0 wurde daher als „keine Angabe“ gewertet (und mit  $-1$  codiert), wenn bei der Frage nach der Qualität der Übereinstimmung („Gefahrene Route genau wie in Karte?“) kein Eintrag markiert war.

### 5.3.3 Ermittlung des Routen-Typs

Routine-Routen, die auf immer gleicher Route absolviert werden, unterscheiden sich hinsichtlich der Motive zur Routenwahl eindeutig von solchen Routen, die auf keiner festgelegten bzw. auf ganz neuen Routen stattfinden. Ausgehend von dieser Annahme (zur Begründung vgl. Kapitel 2.1.1) wurden die folgenden drei Routen-Typen definiert:

- 1 = täglicher oder gelegentlicher Weg mit fester Route,
- 2 = täglicher oder gelegentlicher Weg ohne feste Route,
- 3 = neuer Weg (ohne feste Route).

Diese Typen ergeben sich aus der Kombination der Angaben zur Häufigkeit und Angaben zur Routine (vgl. Tabelle 5-3).

Nach Auslesen der Original-Datenbanken des Interviews wurden Datensätze der Fälle 3, 6, 9 und 10 überprüft und die fehlenden Angaben zur Häufigkeit bzw. zur Routine aufgrund der Inhalte des Interviews hinzugefügt.

Darüber hinaus fanden sich 83 Datensätze des Falls 11, sodass die Variable Routen-Typ als „unbekannt“ angezeigt wurde. Dies lag u. a. an einem Fehler der Software zum Datenabgleich, die in ihrer ersten Version bereits getätigte Eintragungen in den betreffenden Feldern zurücksetzte.

Diese Datensätze wurden wie folgt korrigiert:

Fall	Angabe Häufigkeit	Angabe Routine	Routen-Typ
1	täglich	Route immer gleich	1
2	täglich	Route variabel	2
3	täglich	auswählen (k. A.)	unbekannt
4	ab und zu	Route immer gleich	1
5	ab und zu	Route variabel	2
6	ab und zu	auswählen (k. A.)	unbekannt
7	neuer Weg	Route variabel	3
8	neuer Weg	auswählen (k. A.)	3
9	auswählen (k. A.)	Route immer gleich	unbekannt
10	auswählen (k. A.)	Route variabel	unbekannt
11	auswählen (k. A.)	auswählen (k. A.)	unbekannt

**Tab. 5-3:** Berechnung der Variablen „Routen-Typ“

- Die Variable Routen-Typ behielt den Eintrag „fehlend“, wenn das Interview augenscheinlich nicht durchgeführt wurde (keine weiteren Angaben im Interview-Datensatz).
- Wurde das Interview durchgeführt (kompletter Interview-Datensatz), wurde die Variable Routen-Typ entsprechend den Interview-Angaben umkodiert.

Durch dieses Verfahren konnten 48 Datensätze einem eindeutigen Routen-Typ zugeordnet werden.

In einem weiteren Schritt wurden die Angaben zu den Routen-Typen anhand der vorhandenen Interview-Angaben überprüft und ggf. korrigiert. So war es z. B. möglich, dass zwar ein Routen-Typ „neuer Weg“ angegeben war, aufgrund der eingegebenen Interviewdaten aber nur der Routen-Typ „täglicher Weg auf fester Route“ in Frage kam. In einem solchen Fall wurde der Routen-Typ entsprechend korrigiert.

### 5.3.4 Mehrfach absolvierte Routen

Um die Aufnahme redundanter Daten zu vermeiden, war vorgesehen, jede Route nur einmal im Interview zu erheben. Sollte also z. B. ein Proband seine tägliche Fahrt zur Arbeit auf immer derselben Route absolvieren, so wären die Entscheidungskriterien sicherlich immer gleich. Daher wurde ein einmaliges ausführliches Interview zu einem solchen Weg als ausreichend erachtet. Die erhobenen Daten zu solchen mehrfach absolvierten Wegen wurden entsprechend deren Häufigkeit berücksichtigt.

Den Interviewdaten konnte entnommen werden, ob eine Route zu einem früheren Zeitpunkt (im Untersuchungszeitraum) schon einmal gewählt wurde. Diese Angabe wurde mit weiteren objektiven Merk-

malen überprüft. Dabei handelte es sich um die folgenden Angaben, die bei identischen Routen übereinstimmten oder eine hohe Übereinstimmung aufwiesen:

- Fahrtzweck,
- Tatsächliche Reisezeit,
- Angaben zur Routine
- Schätzungen der Reisezeit und der Reiseweite.

## 5.4 Auswertung der Merkmale

### 5.4.1 Fahrtzwecke

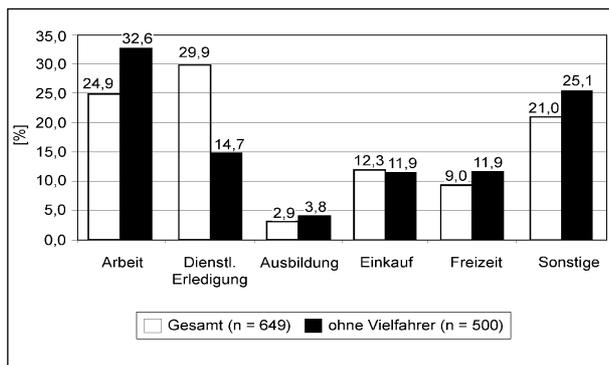
Bild 5-2 zeigt die Aufteilung der in der Nettostichprobe enthaltenen Wege nach Fahrtzweck.

Der größte Anteil der erhobenen Fahrten wurde demnach zum Zweck „dienstliche Erledigung“ getätigt. In der großen Anzahl von Fahrten zu sonstigen Zwecken sind u. a. Fahrten enthalten, die üblicherweise dem Fahrtzweck „Holen und Bringen“ (hier häufig: Kind zum/vom Kindergarten/ Schule) sowie „sonstige private Erledigungen“ zugeordnet werden.

Der große Anteil der dienstlichen bzw. geschäftlichen Fahrten resultiert v. a. aus den Angaben dreier „Vielfahrer“ (1 Taxifahrer, 1 Kurier, 1 Außendienstmitarbeiter). Diese haben allein 116 der 185 Fahrten zu diesem Fahrtzweck getätigt. Daher ist eine zweite Auswertung ohne die Fahrten dieser Probanden dargestellt. Die reduzierte Stichprobe enthält zum größten Teil Fahrten zur Arbeit.

Die Auswertung spiegelt die Struktur der Probandengruppe deutlich wider:

- viele Erwerbstätige mit vielen Arbeitswegen,
- Vielfahrer, mit einem überproportionalen Anteil an Fahrten zu dienstlichen Zwecken,



**Bild 5-2:** Verteilung der Fahrtzwecke in der Nettostichprobe

- kaum Studenten/Auszubildende und deren reduzierte Mobilität aufgrund von Semesterferien.

### 5.4.2 Identische Routen

Um in der Auswertung die Angaben zu mehrfach absolvierten Routen entsprechend ihrer Häufigkeit berücksichtigen zu können, wurde untersucht, welche Fahrten zu den einzelnen Fahrtzwecken auf gleicher Route zurückgelegt wurden (vgl. Kapitel 5.3.4). Tabelle 5-4 zeigt das Ergebnis dieser Auswertung. Rückwege, die auf gleicher Route wie die Hinfahrt absolviert wurden, hatten einen anderen Zielzweck und wurden daher nicht als Fahrten auf gleicher Route gewertet. Identische Routen verschiedener Personen waren in der Fahrtenstichprobe nicht enthalten. Insgesamt wurden demnach 414 verschiedene Routen absolviert. Etwa 15 % dieser Fahrten fanden mehrmals auf der gleichen Route statt.

Erkennbar wird, dass vor allem Wege „zur Arbeit“ häufig auf gleichen Routen absolviert wurden. Die Rückfahrten (nach Hause von Arbeit) werden selte-

	Häufigkeit der Fahrt				Gesamtanzahl verschiedener Routen
	1	2	3	4	
Nach Hause	93	15	3	0	111
von Arbeit	14	7	2	0	23
von dienstl. Erl.	13	0	0	0	13
von Ausbildung	3	1	0	0	4
von Einkauf	14	1	0	0	15
von Freizeit	14	1	0	0	15
von sonst. Erl.	14	3	0	0	17
Arbeit	42	15	12	3	72
Dienstl. Erledigung	54	2	0	0	56
Ausbildung	11	1	0	0	12
Einkauf	36	2	0	0	38
Freizeit	39	0	0	0	39
Sonst. Erledigung	77	6	3	0	86
Anz. verschiedener Routen	352	41	18	3	414

**Tab. 5-4:** Anzahl absolvierter Fahrten auf identischen Routen (ohne Fahrten von Vielfahrern)

Fahrtzweck	Anzahl Teilnehmer mit mehr als einem Weg je Zweck	Wiederholungsrate
Nach Hause	38	34,4 %
Arbeit	34	69,8 %
Sonstige Erledigung	25	17,3 %
Dienstliche Erledigung	11	7,6 %

**Tab. 5-5:** Wiederholungsrate für Fahrten zum Zweck ...

ner auf gleicher Route absolviert. Es ist wahrscheinlich, dass die Rückfahrten oftmals durch Einkäufe oder sonstige Erledigungen unterbrochen werden. Erfahrungsgemäß werden solche Zwischenaktivitäten jedoch häufig nicht als eigene Fahrtziele interpretiert und somit nicht als eigenständige Wege angegeben. Fahrten zum Zweck „Einkauf“ wurden zudem selten auf gleichen Routen absolviert, da sie oft in ein bestimmtes Aktivitätenmuster (z. B. Arbeit-Einkauf-Wohnen) integriert waren (der Einkauf wurde oft „zwischen durch“ erledigt).

Um zu ermitteln, wie groß der Anteil identischer Routen in Abhängigkeit vom Fahrtzweck ist, wurde eine personenbezogene Auswertung durchgeführt. Hierzu wurden zunächst alle Wege eines Teilnehmers hinsichtlich des Fahrtzwecks und der Häufigkeit der Fahrt ausgewertet. Für alle Personen, die mehr als eine Fahrt zum gleichen Zweck getätigt haben, wurde anschließend die Wiederholungsrate ermittelt.

Beispiel: Teilnehmer X absolvierte im Untersuchungszeitraum insgesamt 7 Fahrten zur Arbeit. Es wurde ermittelt, dass bei 4 dieser Wege unterschiedliche Routen und bei 3 Wegen eine identische Route gewählt wurde. Dies entspricht einer Wiederholungsrate von 3/7 oder 42,9 %.

Diese Wiederholungsraten wurden für alle Teilnehmer mit mehr als einem Weg gleichen Fahrtzwecks ausgewertet und anschließend eine mittlere Wiederholungsrate je Fahrtzweck berechnet. Das Ergebnis dieser Auswertung (Tabelle 5-5) zeigt, dass etwa 70 % aller Fahrten zur Arbeit, etwa ein Drittel aller Fahrten nach Hause sowie etwa jede fünfte Fahrt zu sonstigen Erledigungen (hier vermutlich v. a. Holen/Bringen) auf gleicher Route stattfinden. Die Angabe von Wiederholungsraten für alle anderen Fahrtzwecke ist aufgrund zu geringer Fallzahlen nicht sinnvoll.

Im Fahrtzweck „nach Hause“ sind (wie aus Tabelle 5-4 ersichtlich) zum großen Teil Fahrten vom Arbeitsplatz nach Hause enthalten.

### 5.4.3 Motive der Routenwahl

Wesentliches Augenmerk der Auswertung galt der Ermittlung von Motiven/Kriterien bei der Routenwahl. Die Kriterien wurden sowohl für unterschiedliche Routen-Typen sowie für unterschiedliche Fahrtzwecke ausgewertet.

### Mengengerüst

Das folgende Mengengerüst zeigt die Zusammensetzung der für die folgenden Auswertungen relevanten Stichprobe differenziert nach Routen-Typ und Fahrtzweck. Fahrten mit dem Zielzweck „nach Hause“ wurden ihrem Quellzweck zugeordnet. Fahrten zur eigenen Wohnung, bei denen der Quellzweck nicht erkennbar war ( $n = 27$ ), z. B. aufgrund von Ausfällen des Technischen Systems, sowie identische Routen wurden nicht gezählt.

Das Vorgehen bei der Zuordnung aller Fahrten zu Routen-Typen wurde in Kapitel 5.3.3 erläutert. Demnach existieren die folgenden Routen-Typen:

- Typ 1: tägliche oder gelegentliche Wege, die auf fester Route stattfinden,
- Typ 2: tägliche oder gelegentliche Wege, deren Route nicht festgelegt ist,
- Typ 3: neue, vorher noch nie absolvierte Routen.

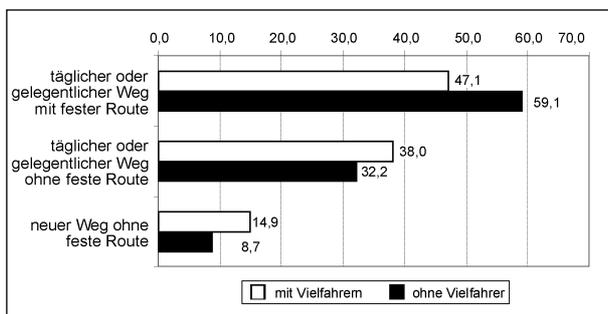
Tabelle 5-6 liefert (neben den zahlenmäßigen Angaben) die folgenden Aussagen:

- Etwa 2/3 aller Fahrten zur Arbeit (inkl. ihrer Heimfahrten) finden auf immer gleichen Routen statt (Routen-Typ 1).
- Die Stichprobe beinhaltet einen hohen Anteil an Fahrten zu sonstigen Erledigungen (21 % aller Fahrten). Dieser Fahrtzweck zeigt sich in puncto Wiederholungsrate recht heterogen (ca. 54 % identische Routen, ca. 15 % neue Wege). Es wurde ermittelt, dass Fahrten diesen Zwecks hier größtenteils Fahrten zum Zweck Holen/Bringen enthalten.
- Der größte Anteil „neuer Wege“ tritt bei Fahrten zu dienstlichen Erledigungen auf (60 % aller neuen Wege).
- Einkaufsfahrten finden zum großen Teil (54 %) auf wechselnden Routen statt.

	Routen-Typen			
	1	2	3	Gesamt
Arbeit	59	30	0	89
Dienstl. Erledigung	38	69	44	151
Ausbildung	13	3	0	16
Einkauf	21	34	8	63
Freizeit	30	13	6	49
Sonst. Erledigung	57	33	16	106
Gesamt	234	189	74	497

**Tab. 5-6:** Mengengerüst zur Auswertung von Motiven der Routenwahl (inkl. Vielfahrer, ohne identische Routen)

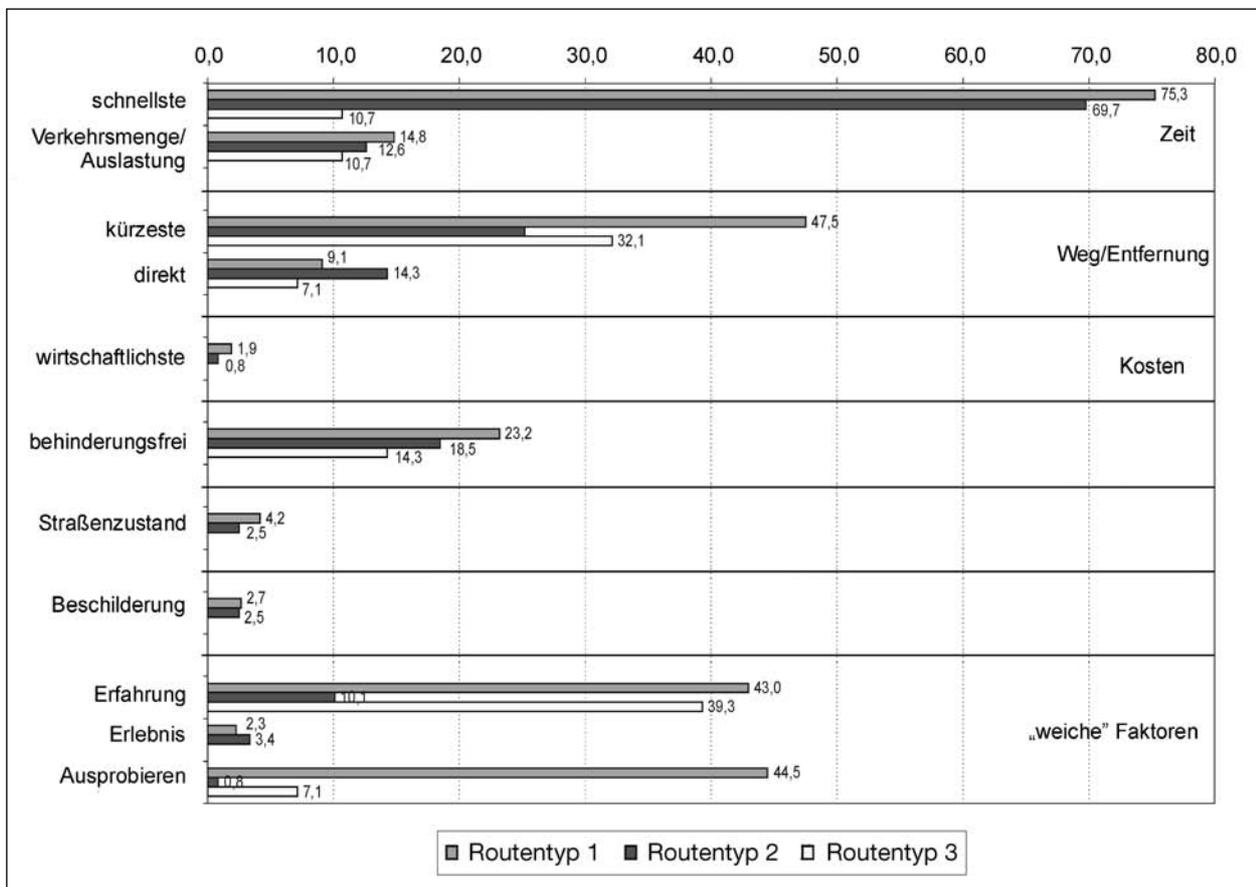
Die Untersuchung von Motiven der Routenwahl ist besonders bei „neuen Wegen“, also solchen Fahrten, die vorher noch nie gefahren wurden, interessant. Auch Fahrten, die zwar zu gleichen Fahrtzielen führen, deren Routenverlauf aber nicht festgelegt ist (Routen-Typ 2), können Hinweise auf bestimmte bisher in der Modellrechnung nicht berücksichtigte Kriterien liefern. Die Anzahl der auswertbaren Fahrten des Typs 3 ist vergleichsweise gering und zudem v. a. auf den Fahrtzweck „dienstliche Erledigung“ konzentriert. Die Ergebnisse für diesen Routen-Typ sind daher nur als Trend zu interpretieren.



**Bild 5-3:** Aufteilung der erhobenen Routen-Typen (ohne identische Routen)

Der größte Teil aller Fahrten findet auf immer gleichen („Routine“-)Routen statt (vgl. Bild 5-3). Die Aussagen der Probanden im Interview zeigten, dass dies v. a. aufgrund fehlender (sinnvoller) Alternativen eintritt, wie z. B. bei Fahrten zwischen einem Wohnstandort im Umland und einem Arbeitsort in der Stadt, oder auch weil Erfahrungen, die über einen längeren Zeitraum gesammelt wurden, zu einer individuell „optimalen“ Route geführt haben. Solche Routen werden nur in Sonderfällen verlassen, z. B. wenn Baustellen bzw. Umleitungen die Nutzung der Route verhindern.

Die folgenden Auswertungen wurden anhand der im Interviewdatensatz enthaltenen Antworten auf die Frage nach dem Grund/den Beweggründen für die Wahl „dieser“ Route vorgenommen. Zu dieser Frage waren Mehrfachantworten möglich. Die Interviewer haben die Antworten in vorgegebene Kategorien eingeordnet bzw., falls die Kategorie nicht vorgegeben war, die Antwort direkt notiert. Zunächst wurden die Motive in Abhängigkeit vom Routen-Typ ermittelt. Das Ergebnis ist in Bild 5-4 erkennbar.



**Bild 5-4:** Motive der Routenwahl (nach Routen-Typ; ohne identische Routen)

### Auswertung nach Routen-Typ

Die differenzierte Auswertung nach Routen-Typ ergab große Unterschiede. Es wird ersichtlich, dass für den größten Teil der Probanden die Reisezeit eine dominante Rolle spielt. Auffällig ist jedoch deren äußerst geringe Bedeutung bei neuen Wegen.

Das Motiv Erfahrung spielt zwangsläufig bei Fahrten auf immer gleicher Route eine bedeutende Rolle. Auffallend ist jedoch, dass der größte Anteil von neuen Wegen dieses Kriterium beinhaltet. Dort spielt die „Erfahrung“ die größte Rolle. Erfahrung wurde im Rahmen der Interviews derart beschrieben, dass eine neue Route aus bekannten „Netzbausteinen“, deren Attribute (Lage, Funktion, Auslastungsgrad etc.) bekannt sind, zu einer „optimalen“ Route zusammengesetzt wird.

Deutlich wird auch die große Bedeutung des Kriteriums „Behinderungsfreiheit“, das aufgrund der An-

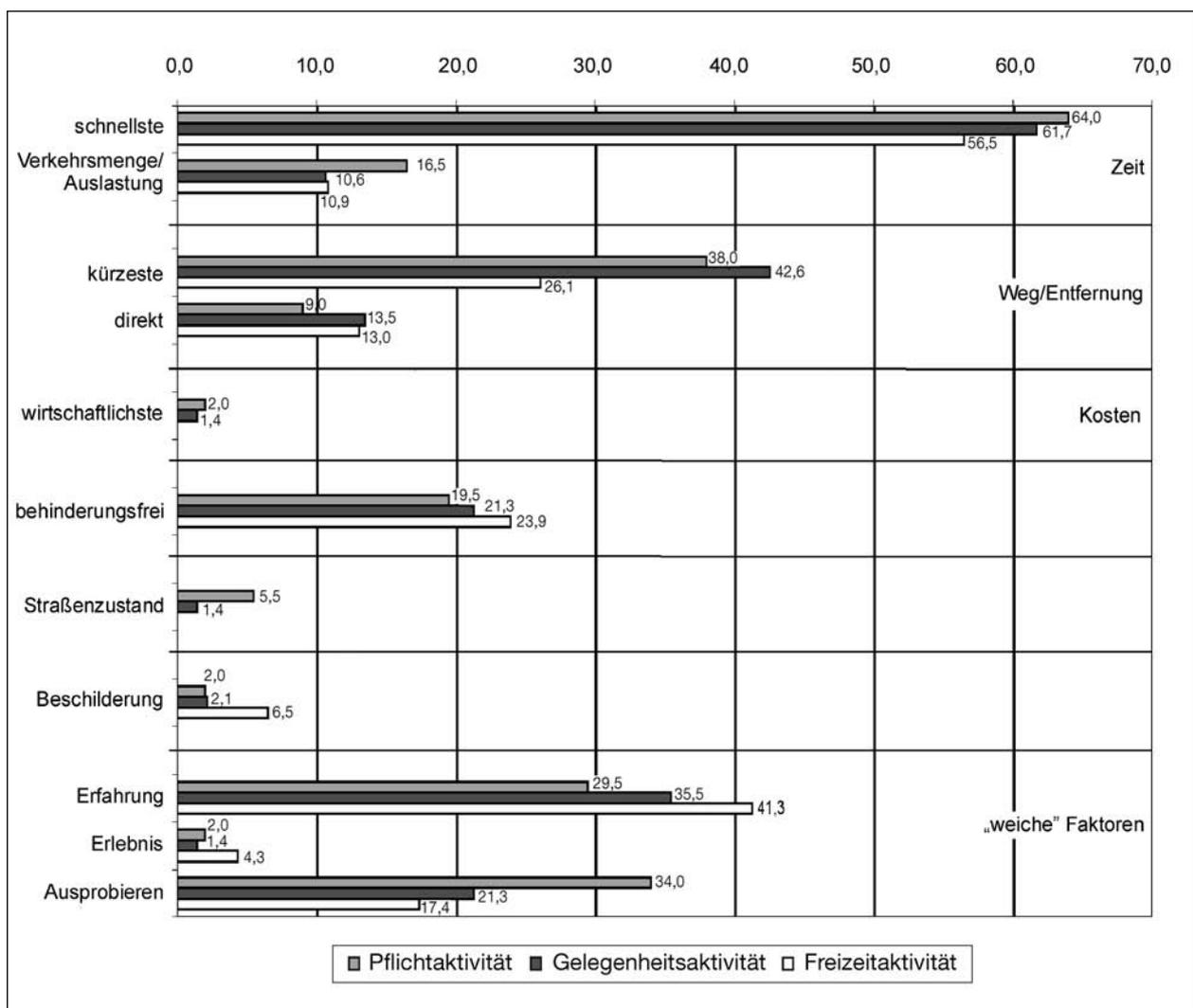
gaben im Interview weit gehend wie folgt definiert werden kann:

- Fahren ohne Stillstand ist weit gehend möglich,
- wenig Hindernisse, z. B. in Form von Bus- oder Taxispuren,
- wenige Kreuzungen (mit oder ohne LSA).

Bemerkenswert ist die fehlende Bedeutung des Kriteriums „Beschilderung“ bei neuen Wegen. Hier wäre zu vermuten gewesen, dass dies eine wichtige Rolle für die Wahl einer Route spielt. Das Fehlen dieses Motivs ist möglicherweise jedoch auf die geringe Fallzahl zurückzuführen.

### Auswertung nach der Art der Aktivität

Für die folgende Auswertung wurden die erhobenen Fahrtzwecke zu den folgenden Aktivitätsgruppen zusammengefasst (s. Bild 5-5).



**Bild 5-5:** Motive der Routenwahl (nach Art der Aktivität; ohne identische Routen)

- Pflichtaktivitäten:  
Fahrzwecke Arbeit, dienstl. Erledigung und Ausbildung,
- Gelegenheitsaktivitäten:  
Fahrzwecke Einkauf und sonstige Erledigung,
- Freizeitaktivitäten:  
Fahrzweck Freizeit.

Neben den bereits vorab genannten Erkenntnissen hinsichtlich der Bedeutung der Reisezeit zeigt sich hier wiederum die Bedeutung des Kriteriums „Behinderungsfreiheit“ (wenn auch nicht so ausgeprägt wie bei der Auswertung nach Routen-Typ). Dieses hat offensichtlich v. a. bei Freizeitfahrten große Bedeutung. Gerade bei Fahrten zu diesem Zweck scheint es dem Pkw-Fahrer auf eine Route ohne längere Standzeiten anzukommen. Das möglichst ununterbrochene „Fahren“ ist in vielen Fällen ein wichtiger Grund bei der Routenwahl. Möglicherweise ist dies ein Phänomen der Hauptstadt Berlin, wo aufgrund zahlreicher spontaner Eingriffe in den Verkehrsablauf (Tagesbaustellen, Staatsbesuche u. Ä.) ein Pkw-Fahrer eine gewisse Grundeinstellung hat, anhand derer er versucht, möglichst ohne Behinderungen (Langsamfahrstellen, Straßensperrungen, Umleitungen) an sein Ziel zu gelangen. Die Auswertung zeigt weiter, dass im Vergleich zu Pflicht- und Gelegenheitsaktivitäten gerade bei Freizeitfahrten auch das Kriterium „Erlebnis“ eine Rolle spielt.

Aufgrund der beiden vorangegangenen Auswertungen kann festgestellt werden, dass das Motiv „Erfahrung“ nach der Reisezeit und neben der Reisezeit eine bedeutende Rolle bei der Routenwahl spielt. Auffällig ist, dass die Bedeutung unabhängig vom Fahrzweck ist (im Mittel etwa 30 %). Außerdem ist die vergleichsweise große Bedeutung des zufälligen Einflusses bemerkenswert. Darauf deutet die Nennung der Determinante „ausprobieren“ in etwa 10 % aller neuen Wege hin.

#### Nur ein Motiv je Route?

Im Rahmen der theoretischen Überlegungen zu dieser Untersuchung wurde die Hypothese aufgestellt, dass ein Pkw-Fahrer zur Wahl seiner Route mehr als ein Kriterium heranzieht. Dies wurde anhand der vorliegenden Interview-Daten überprüft. Für die Auswertung wurden die Entscheidungskriterien für jede Route addiert. Über diese Variable wurden Mittelwerte gebildet. Tabelle 5-7 zeigt das Ergebnis dieser Auswertung.

	Anzahl der Motive		Differenz
	mit Motiv „schnell“	ohne Motiv „schnell“	
	$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$	$\Delta = \bar{x}_1 - \bar{x}_2$
Auswertung nach Routen-Typ			
Feste Route (n = 211)	2,69	1,82	0,87
Variable Route (n = 163)	1,49	0,65	0,84
Neue Wege (n = 32)	1,19	1,00	0,19
Gesamt	2,09	1,28	0,81
Auswertung nach Fahrzweck			
Arbeit (n = 76)	2,33	1,39	0,94
Dienstl. Erledigung (n = 113)	1,81	0,94	0,87
Ausbildung (n = 16)	2,44	1,50	0,94
Einkaufen (n = 52)	1,95	1,27	0,68
Freizeit (n = 45)	2,30	1,60	0,70
Sonst. Erledigung (n = 86)	2,09	1,37	0,72
Gesamt	2,09	1,28	0,81

Tab. 5-7: Mittlere Anzahl von Entscheidungskriterien bei der Wahl einer Route

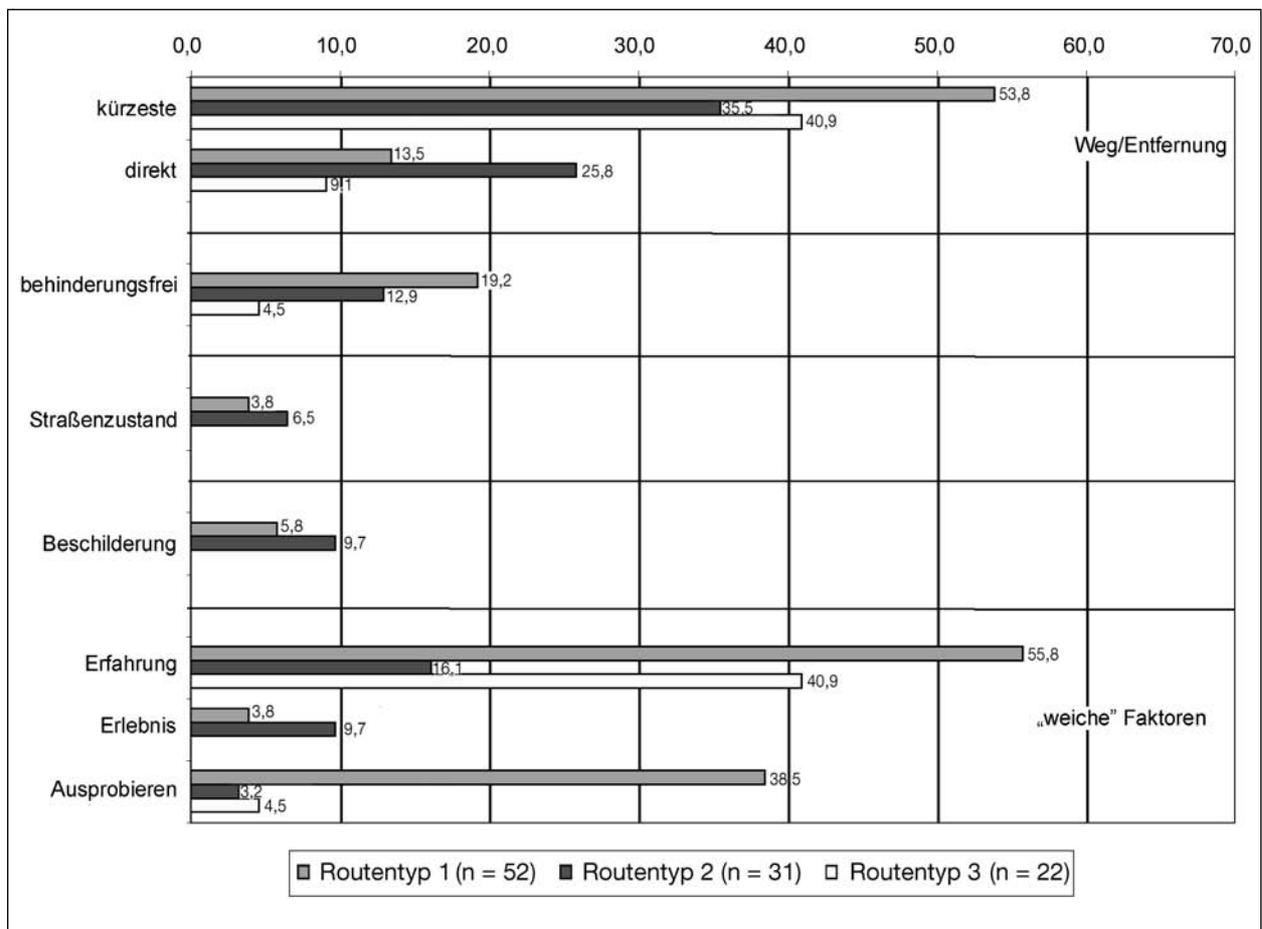
Während die Auswertung des Mittelwertes unter Berücksichtigung des Kriteriums „schnell“ eine mittlere Anzahl von Motiven von 2,09 liefert, beträgt dieser Wert ohne dieses Kriterium 1,28. Daraus wird gefolgert, dass das Kriterium „schnell“ kein alleiniges Kriterium ist. Es gibt durchschnittlich ein weiteres Motiv, das für die Routenwahl entscheidend ist, wenn die Reisezeit als Motiv dient.

Die Betrachtung der Differenz der Werte  $\bar{x}_1$  und  $\bar{x}_2$  liefern einen Anhaltswert für die Wichtigkeit des Motivs Reisezeit in Abhängigkeit von den gewählten Merkmalen Routen-Typ und Wegezweck. Kleine Differenzen deuten auf eine geringe Bedeutung des Motivs Reisezeit hin. Demnach spielt die Zeit bei neuen Wegen eine untergeordnete Rolle. Hier sind es oftmals die Erfahrungen, die zur Festlegung der Route geführt haben (vgl. Bild 5-4).

Bei der Betrachtung der Ergebnisse nach Fahrzweck fällt weiterhin die geringe Wichtigkeit des Motivs „schnell“ bei Einkaufs- und Freizeitwegen sowie bei sonstigen Erledigungen auf.

Bild 5-6 zeigt weitere Kriterien, die bei Fahrten, bei denen die Reisezeit keine Bedeutung hatte (27 %), genannt wurden. Erkennbar ist, dass v. a. die Reisezeit oft als Optimierungskriterium angegeben wird.

Die vorangegangenen Auswertungen erlauben zusammengefasst die nachstehenden Schlussfolgerungen:



**Bild 5-6:** Motive der Routenwahl (wenn Zeit keine Rolle spielt; ohne identische Routen)

- Der größte Anteil (60 %) der in dieser Untersuchung erhobenen Fahrten bestand aus Routine-Routen, die vor Antritt der Fahrt nicht „geplant“, d. h. durch Vorüberlegungen festgelegt werden. Das hauptsächlich genannte Kriterium, nach dem solche Routen optimiert werden, ist v. a. die Reisezeit.
- Dominantes Kriterium bei der Routenwahl ist in allen Auswertungen die Reisezeit, auch wenn im Freizeitverkehr die Dominanz nicht so stark ist wie bei den anderen Verkehrsarten/Fahrtzwecken. Bei ca. 30 % aller Fahrten spielt die Reisezeit jedoch keine Rolle.
- Eine ähnlich große Rolle wie das Kriterium Reisezeit spielen die „Behinderungsfreiheit“ sowie die Erfahrung bei der Wahl einer Route.
- Bei „neuen Wegen“ fällt besonders die geringe Bedeutung des Motivs Reisezeit für die Wahl einer Route auf. Routen dieses Typs entstehen v. a. durch das Aneinanderreihen von Streckenelementen, deren Attribute aufgrund früherer „Erfahrungen“ bekannt sind.
- Bei Freizeitfahrten spielt neben dem Zufall (Motiv „ausprobieren“) das Motiv „Erlebnis“ im Vergleich zu Pflicht- und Gelegenheitsaktivitäten eine spürbare Rolle bei der Routenwahl.
- Die Kriterien Wirtschaftlichkeit, Straßenzustand und Beschilderung spielen bei der Routenwahl eine untergeordnete Rolle.

#### 5.4.4 Abweichungen von Routine-Routen

Bei 293 täglichen/gelegentlichen Wegen mit fester Route („Routine-Routen“) kam es in lediglich 16 Fällen zu einer spontanen Abweichung von der üblichen Route (5,5 %). Als Gründe für die Abweichung wurde in 10 Fällen ein Stau angegeben und in 6 Fällen eine Baustelle (vermutlich ebenfalls verbunden mit einem Stau, der infolge der Baustelle auftrat).

Dieses Ergebnis deutet auf eine große Stabilität hinsichtlich festgelegter Routen (Routen-Typ 1) hin. Es muss jedoch die Frage gestellt werden, ob dies möglicherweise auch darauf zurückgeführt werden

kann, dass die Verkehrsteilnehmer keine Verkehrsprobleme auf ihrer Route vorfinden, z. B. weil die Route aufgrund guter Ortskenntnisse/Erfahrungen derart optimiert ist, dass tatsächlich alle relevanten Kriterien erfüllt sind.

#### 5.4.5 Nutzung Navigationssystem/ Routenplaner

Insgesamt verfügten in der Probandengruppe 7 Personen über ein Navigationssystem im Fahrzeug (9,4 %). Alle gaben an, ihre Routen nach dem Kriterium „Zeit“ berechnen zu lassen. Im Verlauf des Feldversuchs wurde die Verwendung des Navigationssystems jedoch nur von 3 Personen bestätigt, und zwar für insgesamt 14 Fahrten. Interessanterweise wurde das Gerät nicht bei neuen Wegen eingesetzt, sondern 6-mal bei Fahrten mit variabler Route. 8 Routen des Typs 1, also Fahrten mit festgelegter Route, wurden mit dem System bestimmt und dessen Routenvorschlag adaptiert. Bei 234 täglichen/gelegentlichen Wegen mit fester Route („Routine-Routen“) ergibt sich eine Nutzungshäufigkeit des Navigationssystems von 6,8 %.

Ein Routenplaner wurde bei 12 Fahrten verwendet, davon zweimal bei neuen Wegen. Dort kam v. a. der Stadtplan zum Einsatz (15 % der Fälle).

Die Möglichkeiten zur Planung einer Route mit Hilfe eines Navigationssystems/Routenplaners spielten demzufolge in der untersuchten Stichprobe offenbar keine bedeutende Rolle. Dieses Ergebnis ist v. a. darauf zurückzuführen, dass sich in der Gruppe der Untersuchungsteilnehmer ausschließlich Personen befanden, die ihren Wohnsitz im Stadtgebiet oder am Stadtrand von Berlin hatten. Quelle und Ziel der von den Teilnehmern absolvierten Fahrten lagen daher nahezu ausschließlich im Stadtgebiet bzw. in seltenen Fällen am Stadtrand von Berlin.

Für die untersuchte Personengruppe kann daher ein hoher Grad an Ortskenntnis bzw. Kenntnis über das Verkehrsgeschehen vorausgesetzt werden, so dass sie aufgrund ihrer Kenntnisse über Verkehrsbedingungen besser Verzögerungen und Staus „vorhersehen“ können. Zudem ist ihre Kenntnis über alternative Routen höher und sie benötigen daher weniger Informationen zur Festlegung ihrer Route. Unter der Annahme, dass Navigationssysteme und Routenplaner v. a. bei längeren Fahrten und Fahrten im nicht werktäglichen Verkehr verwendet werden, ist dieses Ergebnis daher durchaus nachvollziehbar.

Auswertungen über die Gründe der Nichtbefolgung der auf diese Weise berechneten Routen waren aufgrund der geringen Stichprobengröße nicht sinnvoll.

#### 5.4.6 Längenanteile der Streckentypen in den Modellrouten

Im Hinblick auf die Hypothese, dass heimgebundene Fahrten größere Anteile des „untergeordneten“ Streckennetzes aufweisen, wurde eine Auswertung der Zusammensetzung von Routen hinsichtlich der Längen verfügbarer Streckentypen durchgeführt.

Für die folgende Betrachtung wurden Streckenkategorien gebildet, die im gesamten Untersuchungsraum eine vergleichbare Erreichbarkeit hatten. Insgesamt wurden dazu auf der Grundlage des in 99 Streckentypen kategorisierten Simulationsnetzes von Berlin-Brandenburg vier Haupttypen erstellt:

Kategorie 1: Bundesautobahnen und großräumige Straßenverbindungen (BAB, Bundes- und Landesstraßen),

Kategorie 2: Übergeordnete Straßenverbindungen (Stadtstraßen),

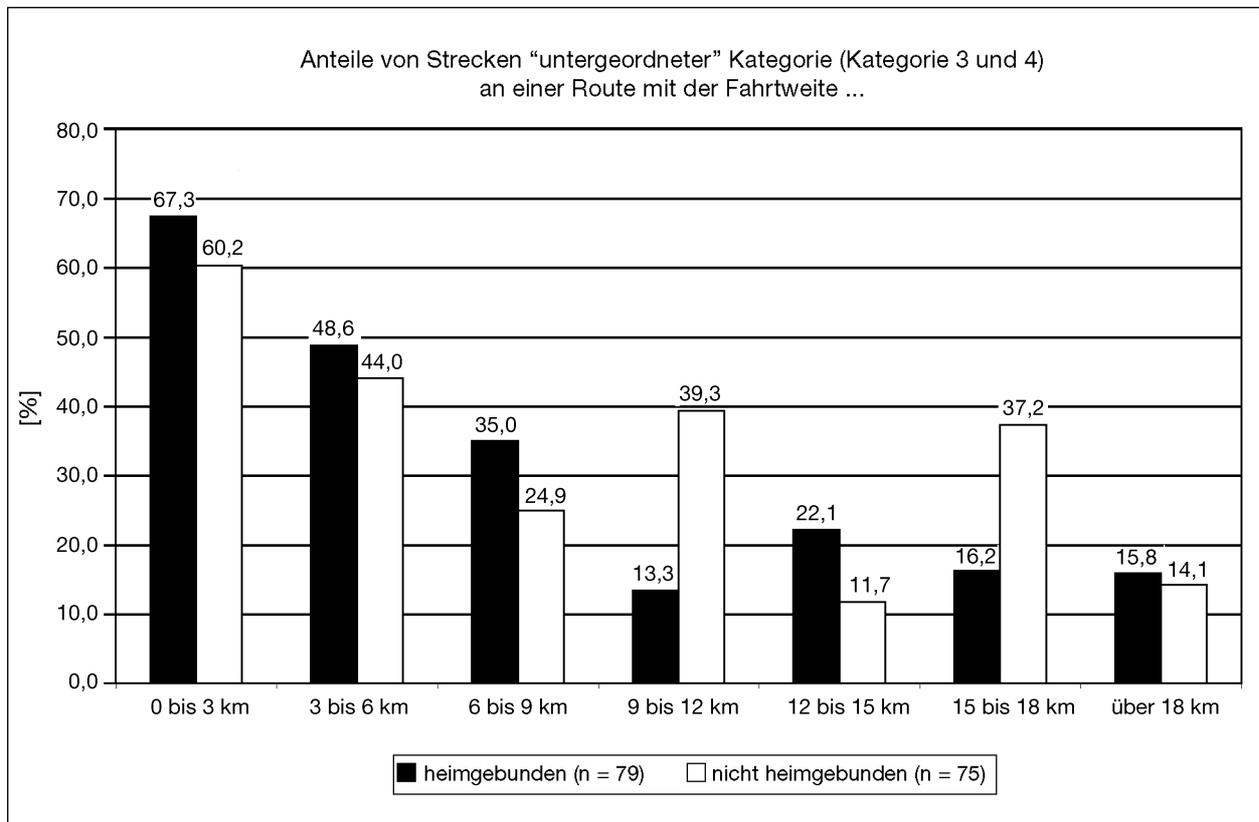
Kategorie 3: Örtliche Verbindungen,

Kategorie 4: Ergänzungsstraßen.

Für die Auswertung wurden nur diejenigen (VISUM-) Routen herangezogen, bei denen der Proband angab, dass eine vollständige Übereinstimmung bzw. lediglich Abweichungen im Start- und Zielgebiet zur tatsächlich gefahrenen Route vorlagen. Dabei handelte es sich um 198 Fälle. Außerdem blieben die Fahrten der Vielfahrer aufgrund ihrer im Vergleich zu den anderen Untersuchungsteilnehmern besseren Netzkenntnis und der stärkeren Bedeutung des Motivs Reisezeit unberücksichtigt, sodass insgesamt 154 Routen ausgewertet wurden.

Die Zusammensetzung sowie die Gesamtlänge jeder Route lagen als Datensatz getrennt nach Streckenlängen für jede Kategorie vor. Die durchschnittliche Zusammensetzung einer Route wurde über die Anteile der einzelnen Streckenkategorien an der Gesamtlänge einer Route berechnet.

Die Ergebnisse dieser Auswertung sind in Bild 5-7 ablesbar. Sie sind differenziert nach dem Merkmal heimgebunden/nicht heimgebunden sowie unterschiedlichen Reiseweiten.



**Bild 5-7:** Durchschnittlicher Anteil von Streckenelementen „untergeordneter“ Kategorie an einer Route mit der Reiseweite ... (bestätigte VISUM-Routen)

Es wird deutlich, dass die in Kapitel 3 formulierte Hypothese, dass heimgebundene Fahrten größere Anteile im untergeordneten Straßennetz aufweisen als nicht heimgebundene Fahrten, zumindest bei Fahrten mit einer Länge bis zu 9 km nicht verworfen werden kann. Bei längeren Fahrten ist das Ergebnis nicht eindeutig. Es ist jedoch nachvollziehbar, da das wichtigste Motiv bei der Routenwahl, möglichst schnell an sein Ziel zu gelangen (vgl. Kapitel 5.4.3), nur bei Benutzung von Streckenelementen mit dem Attribut höherer Geschwindigkeit (gegeben für Streckentypen der Kategorien 1-3) erfüllt werden kann.

#### 5.4.7 Verschätzung der Reisezeit

Der folgende Abschnitt enthält Auswertungen zur tatsächlichen Größe der Verschätzung der Reisezeit und der Reiseweite. Diese dienen zur Überprüfung des Einflusses beider Schätzwerte auf die Routenwahl.

Als tatsächliche Reisezeit wird die am IVR-System registrierte Dauer einer Fahrt bezeichnet. Für einen Vergleich wurden aus dem Interview-Datensatz diejenigen Fälle (Fahrten) ausgewählt, zu denen eine Schätzung der Reisezeit seitens des Pro-

banden vorhanden war. Ausgehend von der Annahme, dass ein Proband ab dem zweiten Interviewtag diese Variable nicht mehr unvoreingenommen schätzte, wurden zudem nur diejenigen Fälle ausgewertet, die im ersten Interview aufgezeichnet wurden und die von Fahrten mit unterschiedlichen Routen stammten. Nach Elimination zweier Ausreißer-Werte ergab sich mit diesen Einschränkungen eine Stichprobe von  $n = 124$  Fahrten.

Insgesamt wurde die tatsächliche Reisezeit in 67 Fällen unterschätzt (54 %), in 34 Fällen überschätzt (27 %) und in 23 Fällen genau, d. h. mit einer Toleranz von  $\pm 5$  % bezogen auf die Reisedauer, geschätzt (19 %). Es besteht demnach eine Tendenz, die Dauer einer Fahrt zu unterschätzen.

Im Gesamtdurchschnitt wurde die mittlere Reisedauer von etwa 24 Minuten um 6 Minuten verschätzt. Das entspricht einer relativen Verschätzung um ca. 25 %. Außerdem konnte festgestellt werden, dass die Größenordnung der relativen Verschätzung etwa 30 % in allen Reisezeitklassen (außer in der Klasse 0 bis 10 Minuten) beträgt und nach oben und unten in etwa gleich ist (vgl. Tabelle 5-8).

Reisezeit-klasse	Anzahl vergleichbarer Routen	Mittlere relative Differenz bei unterschätzter Dauer	Mittlere relative Differenz bei überschätzter Dauer	Anzahl genauer <sup>1</sup> Schätzungen
0 bis 10 min	21	42,0 % (10)	40,2 % (8)	3
10 bis 20 min	37	30,8 % (20)	27,4 % (12)	5
20 bis 30 min	33	31,5 % (18)	25,2 % (9)	6
30 bis 40 min	15	28,8 % (8)	28,0 % (4)	3
40 bis 50 min	9	31,0 % (5)	37,1 % (1)	3
über 50 min	9	28,6 % (6)	- (0)	3
Gesamt	124	32,2 % (67)	30,2 % (34)	23 (18,5 %)

<sup>1</sup> Eine Schätzung wurde als „genau“ gewertet, wenn die relative Abweichung ≤ 5 % war

Tab. 5-8: Vergleich der Differenzen der tatsächlichen mit der geschätzten Reisedauer

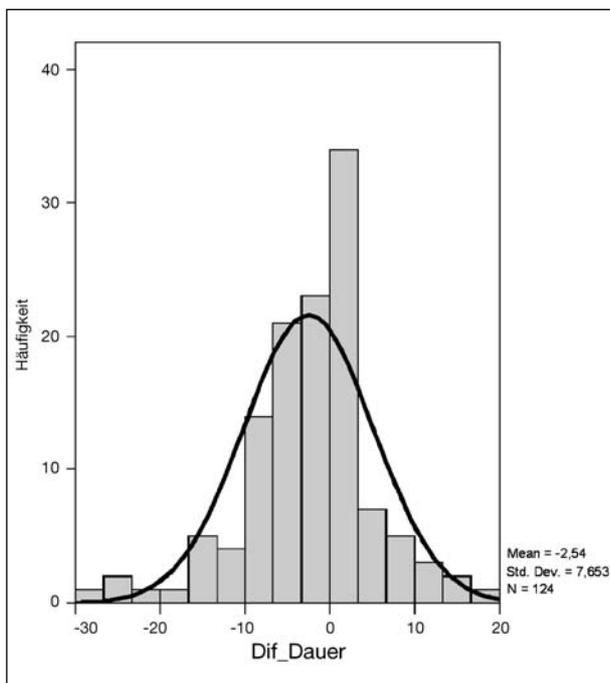


Bild 5-8: Histogramm der absoluten Differenzen der Schätzung der Reisedauer

Anhand der absoluten Verschätzungen konnte anschließend mit Hilfe des KOLMOGOROV-SMIRNOV-Anpassungstests festgestellt werden, dass dieser Schätzfehler durch eine Normalverteilung<sup>8</sup> darstellbar ist.

Anschaulich wird dies aus dem Histogramm der Messwerte mit Darstellung der Normalverteilungskurve (Bild 5-8).

	Mittlere relative Differenz bei unterschätzter Dauer	Mittlere relative Differenz bei überschätzter Dauer
Motiv „Reisezeit“ genannt	24,93 % (n = 42)	25,86 % (n = 27)
Motiv „Reisezeit“ nicht genannt	35,27 % (n = 30)	26,23 % (n = 10)

Tab. 5-9: Verschätzung der Reisezeit in Abhängigkeit vom Motiv „Reisezeit“

Eine nach Routen-Typ differenzierte Auswertung lieferte hinsichtlich der Häufigkeit und der Größenordnung der Verschätzungen keine neuen Erkenntnisse. Gleiches gilt für die nach Fahrtzweck differenzierte Auswertung (vgl. Anlage A-4).

Bei Fahrten, bei denen das Kriterium Reisezeit als Motiv für die Routenwahl angegeben wurde, konnte festgestellt werden, dass die Unterschätzung nicht so stark auftritt wie bei Fahrten, bei denen dieses Kriterium keine Rolle spielt (Tabelle 5-9). Das Bewusstsein über die Dauer einer Fahrt scheint bei Personen, die dieses Kriterium zur Routenwahl heranziehen, tatsächlich stärker ausgeprägt zu sein.

### 5.4.8 Verschätzung der Reiseweite

Als tatsächliche Reiseweite wird die Länge der bestätigten VISUM-Route bezeichnet. Dieser Wert konnte mit Hilfe des vorliegenden Datenmaterials aus den Routen-Datensätzen berechnet werden.

Für einen Vergleich wurden aus dem Interview-Datensatz diejenigen Fälle (Fahrten) ausgewählt, zu denen eine Schätzung der Reiseweite seitens des Probanden vorhanden war. Analog zur Auswertung der Reisezeit wurden zudem nur diejenigen Fälle ausgewertet, die im ersten Interview aufgezeichnet wurden und die von Fahrten mit unterschiedlichen Routen stammten. Nach der Elimination von Ausreißer-Werten ergab sich mit diesen Einschränkungen eine Stichprobe von n = 46 Fahrten.

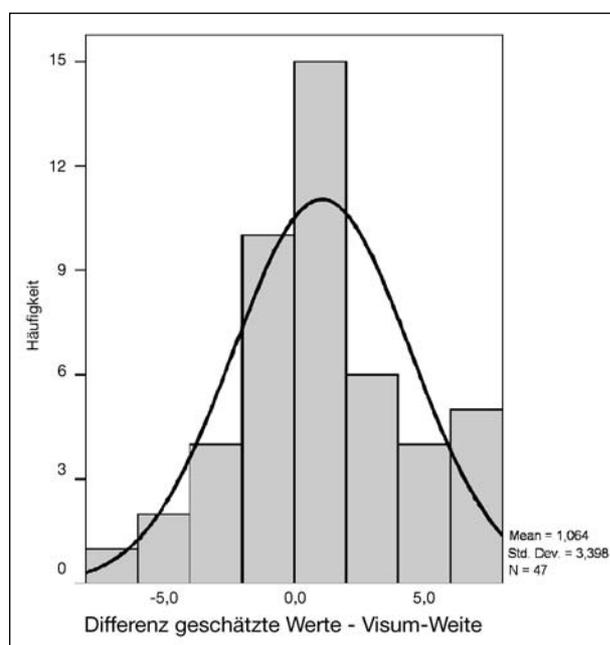
Insgesamt wurde die tatsächliche Reiseweite in 29 Fällen überschätzt (63 %) und in 17 Fällen unterschätzt (37 %). Es besteht demnach eine Tendenz, die Länge einer Fahrt zu überschätzen [u. a. WERMUTH, M. et al. (2001/4)].

Im Gesamtdurchschnitt wurde die mittlere Reiseweite von etwa 11 km um 2,4 km verschätzt. Das entspricht einer durchschnittlichen relativen Verschätzung um 21 %. Außerdem konnte festgestellt

<sup>8</sup> Signifikanzniveau 1 - α = 95 %

Reiseweitenklasse	Anzahl vergleichbarer Routen	Mittlere relative Differenz bei unterschätzter Reiseweite	Mittlere relative Differenz bei überschätzter Reiseweite
0 bis 3 km	10	17,5 % (4)	91,4 % (6)
3 bis 6 km	8	20,4 % (3)	56,0 % (5)
6 bis 9 km	10	5,9 % (1)	40,6 % (9)
9 bis 12 km	5	29,3 % (4)	20,0 % (1)
12 bis 15 km	1	-	35,1 % (1)
15 bis 18 km	4	32,57 % (3)	18,3 % (1)
über 18 km	8	3,6 % (2)	20,63 % (6)
Gesamt	46	21,1 % (17)	47,9 % (29)

**Tab. 5-10:** Vergleich der Differenzen der Längen der bestätigten VISUM-Route mit der geschätzten Reiseweite



**Bild 5-9:** Histogramm der absoluten Differenzen der Schätzung der Reiseweite

werden, dass die Größenordnung der Überschätzung etwa 48 % über alle Reiseweitenklassen und die Unterschätzung etwa 20 % betragen (vgl. Tabelle 5-10). Die relative Verschätzung der Reiseweite nimmt jedoch mit zunehmender Reiseweite ab.

Wie auch bei der Schätzung der Reiseweite konnte anhand der absoluten Verschätzungen anschließend mit Hilfe des KOLMOGOROV-SMIRNOV-Anpassungstests festgestellt werden, dass dieser Schätzfehler der Reiseweite durch eine Normalverteilung<sup>9</sup> darstellbar ist.

Anschaulich wird dies in Bild 5-9 wiederum aus dem Histogramm der Messwerte mit Darstellung der Normalverteilungskurve dargestellt.

Auch für die Verschätzung der Reiseweite wurden analog zur Verschätzung der Reisedauer differenzierte Auswertungen nach Routen-Typ, Fahrtzweck und Nennung des Motivs „Reiseweite“ durchgeführt. Aufgrund zu kleiner Fallzahlen konnten hieraus jedoch keine verwertbaren Ergebnisse ermittelt werden (vgl. Anlage A-5).

## 5.5 Untersuchung der forschungsleitenden Hypothesen

In den folgenden Abschnitten wird ein zusammenfassender Überblick über die in Kapitel 5.5 beschriebenen Ergebnisse im Hinblick auf die in Kapitel 3 formulierten forschungsleitenden Hypothesen gegeben.

### 5.5.1 Netzmodell

Die individuelle Routenwahl ist durch kognitive Aspekte geprägt. Die Bedeutung der Kognition für die Modelle der Routenwahl ist jedoch äußerst schwer zu erfassen. Hierzu wären eine größer angelegte psychologische Studie (Tiefeninterviews) und eine weitaus größere Fahrtenstichprobe notwendig. Dennoch konnte der Einfluss kognitiver Aspekte v. a. anhand der häufigen Nennung des Motivs „Erfahrung“ bei der Routenwahl gezeigt werden. Bei einer Vielzahl von Fahrten wurde die Erfahrung als routenbestimmendes Motiv genannt. Erfahrung wird, nach Angaben der meisten Probanden, begründet durch die sehr lange Lebensdauer am derzeitigen Wohnstandort und die damit verbundene gewachsene Kenntnis u. a. des Straßennetzes.

Es wurde gezeigt, dass bei heimgebundenen Fahrten tendenziell Routen gewählt werden, die im Vergleich zu nicht heimgebundenen Fahrten einen größeren Längenanteil an Streckenelementen untergeordneter Straßenkategorien (örtliche Verbindungen, Ergänzungsstraßen) enthalten.

### 5.5.2 Motive der Routenwahl

Die Auswertung nach Aktivitätengruppen ergab, dass die Reisezeit das entscheidende Motiv für die Routenwahl bei 64 % aller Fahrten mit einer Pflichtaktivität, 62 % aller Fahrten mit einer Gelegenheitsaktivität und 57 % aller Fahrten mit einer Freizeitaktivität als Zielzweck war.

Bei Betrachtung der Routen-Typen zeigten sich folgende Ergebnisse: Bei 75 % aller Routen des Typs 1 (festgelegte Route), 70 % aller Routen des Typs

<sup>9</sup> Signifikanzniveau  $1 - \alpha = 95 \%$

2 (variable Route) wurde das Motiv „Reisezeit“ genannt, jedoch nur bei 10 % aller neuen Wege (Routen-Typ 3).

Neben der Reisezeit wurde durchschnittlich ein weiteres Motiv für die Routenwahl benannt. Bei nicht durch die Reisezeit motivierten Routen war zu 41 % das Motiv Reiseweite entscheidend. Ebenso häufig benannten die Probanden als Routenwahlmotiv auch die eigene Erfahrung ohne zusätzliche Erläuterung.

Als weitere wichtige Motive wurden sowohl bei der Auswertung nach Aktivitätengruppen als auch bei der Betrachtung nach Routen-Typen in nahezu gleich großen Anteilen die „Reiseweite“, „Erfahrung“, „Ausprobieren/Zufall“ sowie „Behinderungsfreiheit“ genannt. Besonders hervorzuheben ist die Nennung des Kriteriums „Behinderungsfreiheit“ bei 24 % aller Fahrten zu Freizeitaktivitäten.

Eine Korrelation zwischen „Behinderungsfreiheit“ und „Reisezeit“ liegt zwar nahe, dennoch wurde dieses Motiv von den Probanden benannt, sodass von einer subjektiv empfundenen, unterschiedlichen Bedeutung beider Kriterien auszugehen ist.

Das Motiv „Reisezeit“ ist nicht das alleinige Kriterium für die Wahl einer Route. V. a. bei Einkaufs- und Freizeitwegen sowie bei sonstigen Erledigungen ist die Bedeutung dieses Motivs im Vergleich zu anderen Motiven gering.

### 5.5.3 Dynamische Komponente

Ein Einfluss dynamischer Informationen auf die Routenwahl (z. B. Navigationssysteme, Rundfunk oder dynamische Verkehrsinformationstafeln im Straßenraum) konnte aus der Fahrtenstichprobe, die überwiegend aus Fahrten auf häufig gewählten Relationen bestand, nicht nachgewiesen werden. Vermutlich ist die Relevanz derartiger Informationen bei Fahrten des Fern- und Fernreiseverkehrs größer.

### 5.5.4 Schätzfehler

Die tatsächliche Reisezeit wurde auf Grundlage der mittels Mobiltelefon erfassten Zeitpunkte von Beginn und Ende einer Fahrt berechnet. Die tatsächliche Reiseweite bezeichnet die Länge einer bestmöglichen Route aus der Modellrechnung.

Auswertungen bezüglich der Verschätzung von Reisezeit und Reiseweite lieferten die folgenden Ergebnisse:

Die tatsächliche Reisezeit wurde in 54 % der Fälle unterschätzt, in 27 % der Fälle überschätzt und in 19 % der Fälle genau (d. h. mit einer Toleranz von  $\pm 5$  % bezogen auf die Reisezeit) geschätzt. Es besteht demnach eine Tendenz, die Dauer einer Fahrt zu unterschätzen.

Im Gesamtdurchschnitt aller Fahrten wurde die mittlere Reisezeit von 24 Minuten um durchschnittlich absolut  $\pm 6$  Minuten verschätzt. Die durchschnittliche relative Verschätzung beträgt unabhängig von der Fahrdauer 30 %. Über- und Unterschätzungen haben dabei gleiche Größenordnung.

Die tatsächliche Reiseweite wurde bei 63 % aller Fahrten überschätzt und bei 37 % aller Fahrten unterschätzt.

Im Gesamtdurchschnitt aller Fahrten wurde die mittlere Reiseweite von etwa 11 km um durchschnittlich absolut  $\pm 2,4$  km verschätzt. Unabhängig von der Fahrtweite beträgt die durchschnittliche relative Überschätzung 48 %, die durchschnittliche relative Unterschätzung 20 %.

Es konnte gezeigt werden, dass die Häufigkeiten der absoluten Verschätzung für Reisezeit und Reiseweite über eine Normalverteilung beschrieben werden können. Die Schätzfehlermethode von FALKENHAUSEN [FALKENHAUSEN, H. (1967)] scheint daher ein geeigneter Ansatz, den Einfluss dieses Parameters auf die Routenwahl abzubilden.

Ob die Verschätzung der Reisedauer bzw. der Reiseweite dazu geführt haben, dass andere als die tatsächlich schnellste bzw. kürzeste Route gewählt wurden, konnte nicht ermittelt werden.

### 5.5.5 Hinweise zur Weiterentwicklung von Routensuch- und Umlegungsmodellen

Die durchgeführte Untersuchung hat zu wesentlichen empirischen Erkenntnissen hinsichtlich der Motive und Einflussfaktoren des Routenwahlverhaltens geführt:

- Neben der Reisezeit spielt noch eine Vielzahl weiterer Kriterien eine Rolle, die bisher nicht bei den Modellen zur Routenwahl berücksichtigt wurden. Dies gilt insbesondere bei Fahrten zu Freizeitaktivitäten und völlig neuen Wegen.
- Eine Verschätzung der beiden wesentlichen Entscheidungskriterien zur Routenwahl – Reisezeit und Reiseweite – konnte empirisch nachgewiesen werden. Eine Berücksichtigung des Schätzfehlers in Routenwahlmodellen analog

der von FALKENHAUSEN entwickelten Schätzfehlermethode kann daher empfohlen werden.

- Im Verlauf der Untersuchung wurden Kriterien wie „Lebensdauer am derzeitigen Wohnstandort“, „Fahrtenhäufigkeit“ sowie „wöchentliche Fahrleistung“ als relevant für eine Erhebung zur Routenerfassung erkannt. Diese Kriterien sollten auch in zukünftigen Untersuchungen zur Routenwahl beachtet werden.
- Die Untersuchungsergebnisse zeigen eine auffällige Bedeutung „weicher“ Motive zur Routenwahl („Erlebnis“, „Ausprobieren/Zufall“, „Erfahrung“). Die Definition dieser Motive sowie die Möglichkeiten für deren Integration in ein Umlageungsmodell sollten vertieft untersucht werden.

## 6 Nachweis des Verfahrens zur Routenidentifikation

Im Rahmen dieses Projekts wurde die ivu AG, Berlin mit der Bereitstellung und dem Betrieb eines Erhebungssystems beauftragt. Das Erhebungssystem beinhaltet ein IVR-System sowie eine Ortungsfunktionalität.

Mit Hilfe dieses Erhebungssystems wurden Daten gewonnen, mit denen u. a. auf die gefahrene Route des Verkehrsteilnehmers geschlossen werden konnte. Methodische Grundlage dieses Systems ist das Verfahren der Routenidentifikation auf der Basis der GSM-Ortung (vgl. Kapitel 3.3.2). Da dieses Verfahren erstmalig für eine Erhebung von Routen Anwendung gefunden hat, sollte im Rahmen dieses Projekts die Validität mittels GPS-Vergleichsmessungen nachgewiesen werden. Im Ergebnis sollte festgestellt werden, wie groß der Übereinstimmungsgrad zwischen den mit Hilfe der GSM-Routenidentifikation bestimmten Routen und den GPS-Routen war. Die Ergebnisse dieser Teiluntersuchung sind in diesem Kapitel beschrieben.

### 6.1 Vorgehensweise

Die Validierung erfolgte auf empirischem Wege. Es wurden 23 Vergleichsfahrten durchgeführt, bei denen einerseits eine GPS-Ortung als Referenzmessung und andererseits die GSM-Ortung einschließlich Routenidentifikation wie im Feldversuch durchgeführt wurden. Der Vergleich der Ergebnisse wurde mittels gemeinsamer kartografischer Darstellung sowie mittels statistischer Ver-

gleiche durchgeführt. Da während des Feldversuchs nur die fünf durch das Verfahren der Routenidentifikation am besten bewerteten Routen aus der Ergebnismenge herangezogen wurden, wurde auch bei der Validierung der GSM-Routenidentifikation so verfahren. Analog zur Vorgehensweise im Feldversuch wurden auch bei dieser Validierung während des Versuchs lediglich die notwendigen Daten aufgezeichnet und die resultierenden Routen im Anschluss an den Feldversuch im Rahmen einer Reprozessierung der gewonnenen Daten berechnet (vgl. Kapitel 4.4.5).

### 6.2 Methodische Randbedingungen

Das methodische Problem des angewandten Verfahrens besteht darin, dass die Ermittlung der Menge aller möglichen Routen, auch unter Berücksichtigung der einschränkenden Randbedingungen, einen exponentiellen Aufwand erzeugt. Aus diesem Grund ist es notwendig, ungültige Routen und Routen, die im Endergebnis voraussichtlich keine entscheidende Bedeutung haben, rechtzeitig zu erkennen und nicht weiter zu verfolgen. Dieses stellt besondere verfahrens- und softwaretechnische Herausforderungen dar.

Im Rahmen des Forschungsprojekts TeleTravel Services [WERMUTH, M. et al. (2003)] wurde eine erste softwaretechnische Implementierung des Verfahrens in Form eines funktionalen Prototyps vorgenommen. Es konnte hiermit die Validität des Verfahrens auf Fernstraßen empirisch nachgewiesen werden. Im Rahmen dieses Projektes wurde jedoch festgestellt, dass das Laufzeitverhalten dieser Implementierung insbesondere im Bereich der Routenbewertung noch erhebliches Optimierungspotenzial aufweist. Die erforderliche Rechenzeit überstieg in den meisten Fällen den durch den Feldversuch gegebenen Rahmen. Zusätzliche Maßnahmen in Form von weiteren heuristischen Annahmen zur frühzeitigen Reduktion der Menge der zu bewertenden Routen reduzierten zwar dieses Problem, konnten es jedoch nicht beheben. In der Folge wurden die GSM-Routen durch Reprozessierung der aufgezeichneten Daten im Anschluss an den Feldversuch berechnet.

Zur Optimierung des Laufzeitverhaltens musste die kinematische Bewertung bei der Routenidentifikation (vgl. Kapitel 3.3.2) in diesem Projekt deaktiviert werden. Die hierfür notwendige Rechenzeit überstieg die Möglichkeiten des Projekts. Die Prüfung lokaler zeitlicher Umwege wurde – ebenso aus Grün-

den des Laufzeitverhaltens – nach jeder Ortung auf einen Korridor endend mit den jeweils 15 zurückliegenden Strecken in einer Tiefe von jeweils 7 Strecken analysiert. Diese Maßnahme führt zu einer erheblichen Reduktion des Rechenaufwands bei einer gleichzeitigen sicheren Erkennung kleiner lokaler Umwege. Umwege mit einer Länge von mehr als 7 Strecken können jedoch nicht erkannt werden. Derartige Routen können u. U. in der Ergebnismenge verbleiben, ohne wesentlich schlechter als andere Routen bewertet zu werden. Das Bewertungskriterium der Gesamtreisezeit wurde berücksichtigt.

Die GPS-Referenzortungen wurden i. Allg. im 2-Sekunden-Abstand ermittelt und unverändert als Einzelpunkte in den Karten dargestellt. Für den statistischen Vergleich wurden diese Ortungen manuell auf das für die Routenidentifikation verwendete Straßennetzmodell Berlin-Brandenburg der ivu AG projiziert.

### 6.3 Datenbasis

Die Validierung erfolgte auf Grundlage der folgenden Daten:

- „GPS-Routen“: Datensätze sowie kartografische Darstellungen von Messfahrten, die mittels GPS verortet wurden (n = 23).
- „VISUM-Routen“: Datensätze sowie kartografische Darstellungen der VISUM-Routen, die von den Probanden als „korrekt“ beurteilt wurden (n = 198).
- „GSM-Routen“: Datensätze sowie kartografische Darstellungen der reprozessierten GSM-Routen. Relevant waren lediglich diejenigen Datensätze, die mit den bestätigten VISUM-Routen paarweise verglichen werden konnten (n = 142).

In den Karten der Messfahrten (vgl. Bild 6-1) sind jeweils die GPS-Ortungsergebnisse als Punkte dargestellt<sup>10</sup>. Zudem sind die fünf am besten bewerteten GSM-Routen sowie die zugrunde liegenden GSM-Ortungen eingezeichnet. Den Karten kann

<sup>10</sup> Sie verlaufen zu einer Linie, da sie im Abstand von jeweils 2 Sekunden gemessen wurden



Bild 6-1: Kartendarstellung der Berechnungsergebnisse (GPS-Messfahrten und GSM-Route)

somit neben dem Ergebnis der Routenidentifikation auch die GSM-Datengrundlage entnommen werden. Start- und Zielortung sind farbig hervorgehoben. Im Übrigen wurde dieselbe Kartengrundlage wie im Feldversuch verwendet. Anlage A-1 enthält eine größere Kartendarstellung.

## 6.4 Vergleich der GPS-Messfahrten mit GSM-Routen

### 6.4.1 Qualitativer Vergleich

Für den qualitativen Vergleich wurden die kartografisch dargestellten Ergebnisse der Routenidentifikation optisch mit den GPS-Messergebnissen verglichen. Dieser Vergleich sollte einen Eindruck darüber vermitteln, wie genau die GSM-Routen dargestellt werden können. Das Beurteilungsverfahren richtete sich nach der Methodik des im Rahmen des Feldversuchs durchgeführten Interviews und verwendete entsprechend vier Qualitätsstufen (vgl. Kapitel 5.3.2). Die Beurteilung erfolgte jedoch nicht durch Probanden, sondern intern.

Der Vergleich von 23 vergleichbaren Fahrten lieferte das in Tabelle 6-1 dargestellte weitgehend positive Ergebnis.

Den Fall einer „leichten Abweichung im Streckenverlauf“ zeigt Bild 6-1. Alle anderen Fälle dieser Kategorie lieferten ein ähnliches Bild, sodass auch die eher schlechte Beurteilung (Qualitätsstufe 3 und 4) aus verkehrsplanerischer Sicht kaum ins Gewicht fällt.

Routenqualität	absolut	relativ
(1) die Routen stimmen vollständig überein	8	34,8 %
(2) Abweichungen lediglich im Start-/ Zielgebiet	7	30,4 %
(3) leichte Abweichungen im Streckenverlauf	6	26,1 %
(4) große Abweichungen/völlig andere Route	0	0,0 %
Insgesamt	23	100,0 %

**Tab. 6-1:** Qualität der GSM-Routen im Vergleich zu GPS-Messfahrten

<sup>11</sup> Die hier gewählte Einteilung in Reiseweitenklassen mit einer Klassenbreite von 4 km weicht von der in allen anderen Auswertungen gewählten Kategorisierung ab. Um ausreichend große Fallzahlen in den einzelnen Klassen anzutreffen, wurde nur für diese Auswertung so verfahren

### 6.4.2 Quantitativer Vergleich

Über den qualitativen Vergleich hinaus wurden die vorliegenden Datensätze quantitativ ausgewertet. Für diese Auswertung wurden die Längen übereinstimmender Streckenabschnitte berechnet und der Grad der Übereinstimmung zwischen GPS-Route und der dazugehörigen, jeweils am besten bewerteten GSM-Route bestimmt.

Grundlage des Vergleichs waren die Streckenelemente der GPS-Messfahrt zwischen Startkoordinaten und Zielkoordinaten sowie die Streckenelemente der GSM-Route die sich zwischen den äußeren Radien (R2) der Ortungsflächen von Start- und Zielortung befanden (vgl. Bild 6-2).

Der Übereinstimmungsgrad wurde nach der folgenden Formel berechnet:

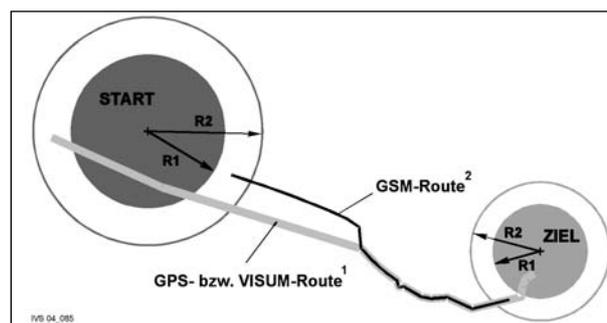
Übereinstimmungsgrad [%]

$$= \frac{\sum_{i=1}^m \text{Länge aller übereinstimmenden Streckenanteile}}{\sum_{i=1}^n \text{Länge aller Streckenelemente der "tatsächlichen" Route}}$$

Als „tatsächliche“ Route wurde die GPS- bzw. die bestätigte VISUM-Route definiert.

Die Auswertung nach Reiseweitenklassen<sup>11</sup> lieferte das in Tabelle 6-2 dargestellte Ergebnis.

Der Vergleich zeigt, dass es vergleichsweise wenig Übereinstimmung zwischen GSM-Route und GPS-



**Bild 6-2:** Prinzipskizze für die Berechnung des Übereinstimmungsgrades zwischen GPS/VISUM- und GSM-Route (<sup>1</sup> bestätigte VISUM-Route; <sup>2</sup> die am besten bewertete GSM-Route)

Reiseweitenklasse	Übereinstimmungsgrad GPS-GSM (n =)
0 bis 4 km	55,1 % (4)
4 bis 8 km	77,1 % (4)
8 bis 12 km	78,0 % (10)
über 12 km	74,5 % (4)
Gesamt	73,1 % (22)

**Tab. 6-2:** Übereinstimmungsgrade zwischen GPS-Messfahrten und GSM-Routen

Referenz bei kurzen Routen (bis 4 km) gibt. Der Grund hierfür ist die Ungenauigkeit der GSM-Ortung, die in diesen Bereichen nicht hinreichend durch Hinzunahme verkehrlicher Stützinformationen ausgeglichen werden kann. Bei Routen ab einer Länge von 4 km nimmt jedoch die Genauigkeit stark zu. Auf längeren Routen sind diese Stützung und die damit verbundene Genauigkeitssteigerung der Ergebnisse sehr wirksam.

Die Routen stimmen zu großen Teilen überein. Einige Routen wurden exakt abgebildet, bei anderen Routen gab es durch parallel führende Strecken im Bereich der Ortungsgenauigkeit die im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Abweichungen (vgl. Bild 6-1). Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, dass sich das Ergebnis in einem Vergleich der GPS-Route mit der zweit- oder drittbesten bewerteten GSM-Route noch verbessern könnte.

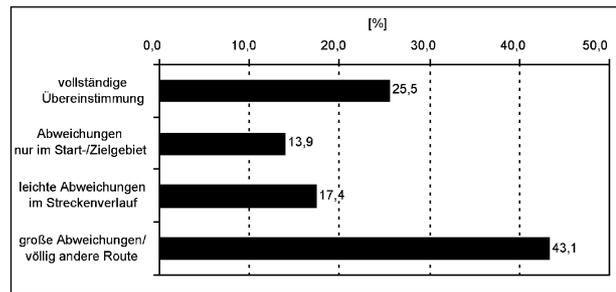
Die Ergebnisse zeigen die Möglichkeiten und die Grenzen in der Anwendung der Mobilfunkortung und der darauf aufbauenden Routenidentifikation deutlich auf:

- In Einzelfällen kann sich eine erhebliche Anzahl an Netzteilen innerhalb der durch die Ortung und ihre Genauigkeit beschriebenen Kreise befinden.
- Die Genauigkeitsbeschreibung der Netzbetreiber stimmt mit den gemessenen Genauigkeiten im Wesentlichen überein. Der paarweise Vergleich für alle Ortungsfälle zeigt aber auch, dass es Fehlortungen gibt.
- Die Menge und Größe der Fehlortungen sind abhängig vom Netzbetreiber und nur schwer vorherzusagen. Sie können jedoch mit Spezialalgorithmen der Fehlortungserkennung behandelt werden. Die im Verfahren der Routenidentifikation angewandte Fuzzyfizierung der Ortung zur Unschärfebeschreibung ist dafür eine mögliche Methode.

Aus den Ergebnissen der Routenidentifikation und deren Vergleich mit der Referenzortung GPS kann abgelesen werden, dass mit der eingesetzten Methodik und Parametrierung die gefahrene Route in den wesentlichen Anteilen nachgebildet werden kann.

## 6.5 VISUM-Routen

Bild 6-3 zeigt das Ergebnis der Auswertung der Frage nach dem Grad der Übereinstimmung der



**Bild 6-3:** VISUM-Routen (Beurteilung der Probanden) (ohne identische Routen)

berechneten VISUM-Route(n) mit der tatsächlich absolvierten Route. Basis dieser Auswertung sind die Angaben der Probanden auf die erste Frage des Interviews (vgl. Kapitel 3.3.4). Die Auswertung bezieht sich auf insgesamt 465 Routen. Identische Routen sind nicht berücksichtigt.

Demnach waren etwa 40 % der VISUM-Routen im Hinblick auf das Forschungsziel verwertbar. Bei den verbleibenden Routen kann keine verlässliche Aussage über deren tatsächlichen Verlauf getroffen werden. Dieses beinhaltet jedoch nicht die Aussage, dass VISUM im Hinblick auf seinen eigentlichen Verwendungszweck keine verlässlichen Ergebnisse liefert (vgl. Kapitel 2.2.2)!

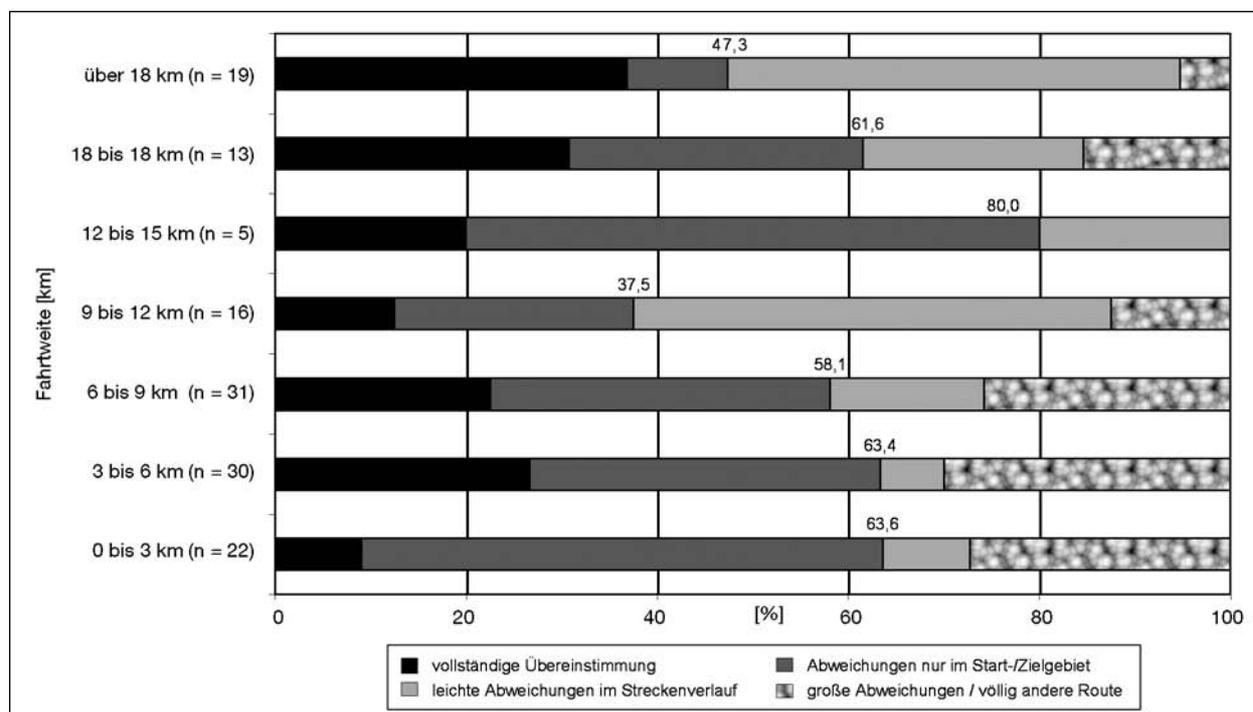
Insgesamt wurden 198 Routen als „korrekt“ identifiziert („bestätigt“). Bestätigte Routen wiesen entweder keine Abweichungen oder nur leichte Abweichungen im Start-/Zielgebiet auf. Diese Routen wurden im Weiteren einem Vergleich mit reprozessierten GSM-Routen unterzogen.

## 6.6 Vergleich der VISUM-Routen mit GSM-Routen

### 6.6.1 Qualitativer Vergleich

Für diese Auswertung wurden 136 Routen verglichen, für die sowohl ein GSM-Datensatz als auch ein bestätigtes VISUM-Ergebnis vorlag. Die Ergebnisse der GSM-Routenberechnung wurden den bestätigten VISUM-Routen grafisch gegenübergestellt und nach Augenschein hinsichtlich ihrer Übereinstimmung beurteilt. Dazu wurde wiederum die im Interview gewählte Kategorisierung zugrunde gelegt. Der optische Vergleich beider Routen lieferte das in Tabelle 6-3 dargestellte Ergebnis.

Die Qualität des GSM-Routenberechnungsverfahrens kann aufgrund dieses Vergleiches als durchaus akzeptabel bewertet werden. Nahezu 60 % der GSM-Routen wiesen eine hohe Übereinstimmung



**Bild 6-4:** Qualität der GSM-Route im Vergleich zur bestätigten VISUM-Route (in Abhängigkeit von der Reiseweite; optischer Abgleich)

Routenqualität	absolut	relativ
(1) die Routen stimmen vollständig überein	31	22,8 %
(2) Abweichungen lediglich im Start-/Zielgebiet	47	34,6 %
(3) leichte Abweichungen im Streckenverlauf	30	22,1 %
(4) große Abweichungen/völlig andere Route	28	20,6 %
Gesamt	136	100,0 %

**Tab. 6-3:** Qualität der GSM-Routen im Vergleich zu bestätigten VISUM-Routen

mit den bestätigten VISUM-Routen auf. Die naheliegende Vermutung, dass Abweichungen zwischen beiden Ergebnissen vermehrt bei „kurzen“ Routen auftreten, konnte nicht bestätigt werden (vgl. Bild 6-4). Ein eindeutiger Trend zu „besseren“ Ergebnissen bei längeren Reiseweiten liegt nicht vor.

Die Abgrenzung der Qualitätsstufen ist in Einzelfällen schwierig. Daher treten in dieser Auswertung im Gegensatz zu der im folgenden Abschnitt dargestellten quantitativen Auswertung „große Abweichungen/völlig andere Route“ häufiger auf.

Der Vergleich zeigte in diesem Zusammenhang, dass die festgestellten Abweichungen sowohl durch die Einschränkungen bei der Genauigkeit der Bestimmung des Start- und Zielpunktes als auch durch die Einschränkung des Routings in einem (abstrahierten) VISUM-Netz erklärbar sind.

### 6.6.2 Quantitativer Vergleich

Wie viele Kilometer einer Route stimmen überein? Für diesen Vergleich wurde die Abfolge aller im Verlauf einer Route befahrenen Streckenelemente (Kanten) des Netzmodells paarweise verglichen und mit der in Kapitel 6.4.2 beschriebenen Methodik ein Übereinstimmungsgrad berechnet.

Grundlage des Vergleichs waren die Streckenelemente der VISUM-Route von Anbindungspunkt zu Anbindungspunkt<sup>12</sup> sowie die Streckenelemente der GSM-Route, die sich zwischen den äußeren Radien (R2) der Ortungsflächen von Start- und Zielortung befanden (vgl. Bild 6-2). Für diesen quantitativen Vergleich der VISUM-Routen mit den GSM-Routen standen 128 Routen zur Verfügung.

Anlage A-6 enthält beispielhafte Darstellungen von vergleichbaren Routen für je zwei Routen mit sehr hohem und mit sehr niedrigem Übereinstimmungsgrad. In Tabelle 6-4 sind die Übereinstimmungsgrade analog zu Tabelle 6-2 getrennt nach Reiseweite

<sup>12</sup> Im Startbereich: Übergang vom verorteten Startbezirk auf das erste Netzelement.  
Im Zielbereich: Übergang vom letzten Netzelement zum Zielbezirk

Reiseweitenklasse	Übereinstimmungsgrad VISUM-GSM (n =)
0 bis 3 km	50,8 % (17)
3 bis 6 km	58,9 % (27)
6 bis 9 km	66,6 % (30)
9 bis 12 km	70,3 % (16)
12 bis 15 km	67,8 % (5)
15 bis 18 km	71,5 % (14)
über 18 km	75,8 % (19)
Gesamt	65,3 % (128)

**Tab. 6-4:** Übereinstimmungsgrade zwischen bestätigten VISUM- und GSM-Routen

tenklassen für den Vergleich zwischen VISUM-Route und GSM-Route ablesbar.

Auch dieses Ergebnis erlaubt die Schlussfolgerung, dass die Genauigkeit der Ergebnisse des Verfahrens zur Routenidentifikation mit größerer Reiseweite zunimmt. Deutliche Verbesserungen sind sowohl an der 3-km-Grenze als auch an der 6-km-Grenze zu erkennen.

Bei der Interpretation des Ergebnisses muss zudem beachtet werden, dass das Ergebnis der Routenidentifikation nur so genau sein kann, wie es das zugrunde liegende Netzmodell erlaubt. Darüber hinaus sind die Ungenauigkeiten der GSM-Ortung im Start- und Zielbereich einer Fahrt zu berücksichtigen, die mit abnehmender Dichte des Mobilfunknetzes zunehmen.

## 6.7 Vergleich der Reiseweiten von GSM-Routen mit tatsächlichen Reiseweiten

Für den folgenden paarweisen Vergleich standen 151 Routen-Datensätze zur Verfügung. Diese setzten sich aus 129 Datensätzen von bestätigten VISUM-Routen sowie 22 Datensätzen von GPS-verorteten Routen zusammen. Für die Berechnung der relativen Differenzen wurde die absolute Differenz beider Reiseweiten berechnet und auf die Länge der „tatsächlichen“ Route bezogen. Der Vergleich beinhaltet zwangsläufig geringe Fehler, die aus der Referenzierung von Routen auf ein VISUM-Netzmodell resultieren. Dennoch kann dieser Vergleich zur Beurteilung der Genauigkeit des Routenidentifikationsverfahrens bei der Berechnung von Reiseweiten als Anhaltswert dienen.

Wurde für die tatsächlichen Routen eine durchschnittliche Routenlänge von 10,9 km berechnet,

Reiseweitenklasse	Anzahl vergleichbarer Routen	Mittlere relative Differenz (GSM-Route kürzer als tatsächliche Route)	Mittlere relative Differenz (GSM-Route länger als tatsächliche Route)
0 bis 3 km	20	36,7 % (16)	51,5 % (4)
3 bis 6 km	33	32,6 % (22)	26,1 % (11)
6 bis 9 km	31	18,1 % (22)	10,7 % (9)
9 bis 12 km	19	15,4 % (11)	17,4 % (8)
12 bis 15 km	12	7,5 % (7)	16,8 % (5)
15 bis 18 km	14	17,1 % (9)	14,1 % (5)
über 18 km	22	9,9 % (13)	21,6 % (9)
Gesamt	151	22,2 % (100)	21,1 % (51)

**Tab. 6-5:** Vergleich der Differenzen der Reiseweiten zwischen tatsächlichen und GSM-Routen

so war diese bei GSM-Routen durchschnittlich um 1,8 km verschieden. Das Verfahren zur Routenidentifikation lieferte also Routen, die sich – bezogen auf die Reiseweite – durchschnittlich um 16 % von den tatsächlichen Routen unterschieden.

Insgesamt waren 100 GSM-Routen (66 %) kürzer und 51 GSM-Routen (34 %) länger als die tatsächliche Route. Außerdem konnte festgestellt werden, dass die Größenordnung der relativen Differenz etwa 22 % in allen Reiseweitenklassen beträgt und nach oben und unten in etwa gleich ist.

Die Übereinstimmung der tatsächlichen Reiseweite verbessert sich mit zunehmender Reiseweite. Besonders deutlich wird die Verbesserung des Ergebnisses sowohl an der 3-km- als auch an der 6-km-Grenze der Reiseweite. An dieser Stelle verringert sich die Differenz zwischen beiden Berechnungsergebnissen deutlich.

Das Ergebnis in Tabelle 6-5 zeigt, dass das Verfahren der Routenidentifikation im Durchschnitt keine überzeugend hohe Übereinstimmung bzgl. der Reiseweite liefert und die Ergebnisse zudem relativ stark streuen. Jedoch kann davon ausgegangen werden, dass die erreichte Übereinstimmung andere Verfahren zur Abschätzung der Reiseweite übertrifft.

In diesem Zusammenhang wurde geprüft, ob möglicherweise die Berechnung der Reiseweite anhand der Luftlinienentfernung in Verbindung mit einem Umwegfaktor bessere Ergebnisse liefert. Hierbei stieß man jedoch auf das Problem der Auswahl eines geeigneten Umwegfaktors. Dieser variiert in Abhängigkeit von der Entfernung, der Siedlungsstruktur sowie dem Verkehrsangebot, sodass kein

allgemein gültiger Wert angenommen werden kann und die Berechnung eines Vergleichswertes nicht möglich war.

## 6.8 Beurteilung des Verfahrens

Zur Beurteilung der Qualität des Verfahrens zur Identifikation von Routen aus GSM-Ortungen wurden folgende Vergleiche mit Referenzdaten durchgeführt:

1. Visueller (qualitativer) Vergleich zwischen GSM-Routen und von den Probanden bestätigten Modellrouten,
2. Ermittlung von Längenanteilen einer Fahrt, die bei GSM-Routen und von den Probanden bestätigten Modellrouten übereinstimmen,
3. Ermittlung von Längenanteilen einer Fahrt, die bei GSM-Routen und GPS-Routen übereinstimmen.

Bei der Interpretation der Ergebnisse war zu berücksichtigen, dass jedes der herangezogenen Verfahren unscharfe Ergebnisse lieferte. Unschärfen zeigten sich u. a. in den räumlichen Start- und Zielbereichen einer Fahrt, sodass diese für Routenvergleiche nicht herangezogen werden konnten.

Über den visuellen Vergleich wurden 57 % der GSM-Routen als übereinstimmend mit den von den Probanden bestätigten Modellrouten festgestellt. Weitere 22 % wiesen geringfügige Abweichungen auf und 21 % der Routen zeigten große Abweichungen von der bestätigten Modellroute. V. a. kurze Routen, die in einem abstrahierten Netzmodell nicht ausreichend genau dargestellt werden können, wiesen große Abweichungen auf.

Ergebnis der Ermittlung von Längenanteilen einer Fahrt, die bei GSM-Routen und von den Probanden bestätigten Modellrouten übereinstimmen, ist ein durchschnittlicher Übereinstimmungsgrad von 65 %. Die Übereinstimmung nahm mit größerer Reiseweite zu. Deutliche Qualitätsverbesserungen ergaben sich v. a. bei Routen ab einer Länge von 6 km (durchschnittlich 70 % Übereinstimmung).

Ergebnis der Ermittlung von Längenanteilen einer Fahrt, die bei GSM-Routen und GPS-Routen übereinstimmen, ist ein durchschnittlicher Übereinstimmungsgrad von 73 %, wobei Strecken ab einer Länge von 4 km mit 77 % ein etwas besseres Ergebnis aufwiesen.

Für einen weiteren Vergleich wurden die Reiseweiten von Quelle-Ziel-Relationen ausgewertet. Die

mit dem Verfahren der Routenidentifikation berechneten Reiseweiten lieferten im Vergleich zu den tatsächlichen Werten Abweichungen um durchschnittlich absolut  $\pm 16$  %. In Abhängigkeit von definierten Entfernungsklassen sind die entsprechenden Streuungen unterschiedlich hoch.

## 7 Zusammenfassung

Das FE-Projekt verfolgte das Ziel, Möglichkeiten der Verbesserung von Routenwahlmodellen im MIV aufzuzeigen. Dazu wurden bei 74 Verkehrsteilnehmern an 440 Werktagen die Routen von 1.313 Pkw-Fahrten erfasst und mit Routen verglichen, die für die entsprechenden Verkehrsbeziehungen durch ein Modell der Routensuche ausgewiesen wurden. Ergänzende Befragungen lieferten weitere Merkmale der durchgeführten Fahrten sowie subjektive Kriterien mit Einfluss auf die Routenwahl der Probanden.

### 1. Untersuchungsmethoden

Zur Routenerfassung wurde das betriebsbereite Mobiltelefon eines Probanden während eines Weges mehrfach geortet. Mit einem neuartigen, auf GSM-Ortungsdaten basierenden Routenidentifikationsverfahren wurden vollständige mögliche Fahrtrouten für jede Pkw-Fahrt berechnet.

Weitere Wegedaten (Angaben über das Verkehrsmittel, Zeitpunkte von Wegbeginn, Umstieg und Wegende) wurden über eine Erhebung mittels Mobiltelefonen erfasst (mit einer Weiterentwicklung des Verfahrens „TeleTravel System“). Parallel dazu wurden zeitkürzeste Routen in einer Modellrechnung unter Verwendung des Programmsystems VISUM (PTV AG, Karlsruhe) berechnet.

Das Ergebnis der Modellrechnung (Modellroute) wurde für jeden Weg kartografisch dargestellt und als Grundlage für tägliche, computergestützte persönliche Interviews mit den Probanden verwendet. In diesen Interviews wurden über subjektive Kriterien Ursachen und Hintergründe der Routenwahl erfasst.

Zur Beurteilung der Qualität des Verfahrens zur Identifikation von Routen aus GSM-Ortungen wurden Vergleiche mit Referenzdaten durchgeführt. Als Referenzdaten wurden sowohl Datensätze von Modellrouten, die durch die Probanden bestätigt wurden, als auch Routen, die aufgrund von GPS-Referenzortungen ermittelt wurden (GPS-Routen), herangezogen.

## 2. Untersuchungsergebnisse

### Individuelle Kenntnis des Straßennetzes

Auswirkungen auf die Routenwahl infolge Kenntnis des Verkehrsnetzes wurden bei heimgebundenen Fahrten bis zu einer Länge von 9 km nachgewiesen; es wurden Routen gewählt, die im Vergleich zu nicht heimgebundenen Fahrten einen um 5 bis 10 % größeren Längenanteil an Streckenelementen untergeordneter Straßenkategorien aufwiesen.

### Motive der Routenwahl

Die Reisezeit wurde als entscheidendes Motiv für die Routenwahl bei 64 % aller Fahrten mit einer Pflichtaktivität, bei 62 % aller Fahrten mit einer Gelegenheitsaktivität und bei 57 % aller Fahrten mit einer Freizeitaktivität als Zielzweck angegeben. Neben der Reisezeit wurde durchschnittlich ein weiteres Motiv für die Routenwahl benannt. Bei nicht durch die Reisezeit motivierten Routen war zu 41 % das Motiv Reiseweite entscheidend. Ebenso häufig benannten die Probanden als Routenwahlmotiv auch die eigene Erfahrung ohne zusätzliche Erläuterung.

### Schätzfehler

Auswertungen zu Verschätzungen von Reisezeit und Reiseweite zeigten, dass die Reisezeit von den Probanden bei 54 % aller Fahrten unterschätzt und die Länge einer Fahrt bei 63 % aller Fahrten überschätzt wurde. Die Häufigkeiten der absoluten Verschätzung für Reisezeit und Reiseweite können über eine Normalverteilung beschrieben werden.

### Einfluss dynamischer Informationen

Ein Einfluss dynamischer Informationen auf die Routenwahl (z. B. Navigationssysteme, Rundfunk oder dynamische Verkehrsinformationstafeln im Straßenraum) konnte aus der Fahrtenstichprobe, die überwiegend aus Fahrten auf häufig gewählten Relationen bestand, nicht nachgewiesen werden. Vermutlich ist die Relevanz derartiger Informationen bei Fahrten des Fern- und Fernreiseverkehrs größer.

### Qualität des Verfahrens zur Identifikation von Routen aus GSM-Ortungen

Das Verfahren der Routenidentifikation auf Basis von GSM-Ortungsdaten wird für mehrere verkehrs-

planerische Zwecke mit Ziel einer ausreichend scharfen Routenerfassung als grundsätzlich geeignet eingestuft. Jedoch verweisen die nicht akzeptablen, langen Berechnungszeiten für eine Route auf die Notwendigkeit einer diesbezüglichen Optimierung. Der Vorteil dieses Verfahrens, Routen allein über ein betriebsbereites Mobiltelefon in ausreichender Schärfe zu erfassen, sollte Veranlassung zur Weiterentwicklung des Verfahrens sein.

## 3. Schlussfolgerungen/Hinweise

Die durchgeführte Untersuchung hat zu wesentlichen empirischen Erkenntnissen hinsichtlich der Motive und Einflussfaktoren des Routenwahlverhaltens geführt. Neben der Reisezeit spielt noch eine Vielzahl weiterer Kriterien eine Rolle, die bisher nicht bei den Modellen zur Routenwahl berücksichtigt wurden. Dies gilt insbesondere bei Fahrten zu Freizeitaktivitäten und bei Routen, die erstmalig gewählt werden.

Eine Verschätzung der beiden wesentlichen Entscheidungskriterien zur Routenwahl – Reisezeit und Reiseweite – konnte empirisch nachgewiesen werden. Eine Berücksichtigung des Schätzfehlers in Routenwahlmodellen analog der bekannten Schätzfehlermethode (von FALKENHAUSEN) kann daher empfohlen werden.

Im Verlauf der Untersuchung wurden Kriterien wie „Lebensdauer am derzeitigen Wohnstandort“, „Fahrtenhäufigkeit“ sowie „wöchentliche Fahrleistung“ als relevant für eine Erhebung zur Routenerfassung erkannt. Diese Kriterien sollten auch in zukünftigen Untersuchungen zur Routenwahl beachtet werden.

Die Rekrutierung von Probanden stellte sich als besonderes Problem dar. Für zukünftige Untersuchungen sollte dieses berücksichtigt werden und besondere Rekrutierungsverfahren eingesetzt werden.

Die individuelle Routenwahl ist durch kognitive Aspekte geprägt. Die Komplexität der Methoden zu deren Erfassung ließ jedoch eine detaillierte Betrachtung in diesem Projekt nicht zu. Die Frage nach geeigneten Verfahren zur Erfassung, Integration und Auswirkungen kognitiver Aspekte auf die Modellergebnisse sollte daher in einer weiteren Untersuchung geklärt werden.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen eine auffällige Bedeutung „weicher“ Motive zur Routenwahl

(„Erlebnis“, „Ausprobieren/Zufall“, „Erfahrung“). Die Definition dieser Motive sowie die Möglichkeiten für deren Integration in ein Umlegungsmodell sollten vertieft untersucht werden.

Das eingesetzte Verfahren zur Routenidentifikation auf Basis von GSM-Ortungen bietet den Vorteil, Routen ausschließlich über ein betriebsbereites Mobiltelefon zu erfassen. Es sollte weiterentwickelt und insbesondere bezüglich der Zeiten zur Berechnung von Routen optimiert werden.

## 8 Literatur

- BEN-AKIVA, M., de PALMA, A., KAYSI, I.: Dynamic network models and driver information systems, *Transportation Research A*, 25 (5) 251-266
- BLEY, O.: Erfassung des Verkehrsverhaltens mittels Mobiltelefonen auf Grundlage von IVR-Systemen, Entwurfsarbeit am Institut für Verkehr und Stadtbauwesen der TU Braunschweig, unveröffentlicht, Braunschweig 2004
- BORTZ, J., DÖRING, N.: Forschungsmethoden und Evaluation, 2. Aufl., Springer Verlag, Berlin 1995
- BRAUN, J., WERMUTH, M.: VPS 3 – Konzept und Programmsystem eines analytischen Gesamtverkehrsmodells, Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Verkehrswesen der TU München, Heft 6, München 1973
- BUSSIEK, T.: Telematische Systeme im Personenverkehr – ein synergetisches Modell der Verkehrsmittelentscheidung, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden 1998
- CONRAD, U.: Wegewahlverhalten von Fahrradfahrern zur Ermittlung von Belastungen städtischer Radverkehrsnetze, Schriftenreihe des Instituts für Verkehr und Stadtbauwesen der TU Braunschweig, Bd. 49, Braunschweig 1995
- DOWNS, R., STEA, D.: Maps in Minds – Reflections on Cognitive Mapping. In: Series in Geography, Harper & Row, New York, 1977
- FALKENHAUSEN, H.: Ein stochastisches Modell zur Verkehrsumlegung, *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 58, Bonn 1967
- FRIEDRICH, M., HOFSAß, I., NÖKEL, K., VORTISCH, P.: Umlegung zeitlich differenzierter Nachfragematrizen: Ein dynamisches Verfahren für Verkehrsplanung und Telematik, *Stadt Region Land*, Schriftenreihe des Instituts für Stadtbauwesen RWTH Aachen, Heft 69, Aachen 2000
- GOLD, J. R.: An Introduction to behavioural geography, Oxford University Press, Oxford 1980
- HAN, B.: Analyzing car ownership and route choices using discrete choice models, KTH Stockholm, 2001, im Internet: <http://media.lib.kth.se:8080/dissengrefhit.asp?dissnr=3215>, Abruf: 2004-12-08
- IVU Traffic Technologies AG: Stadtentwicklungsplan Verkehr, Berlin 1998
- KÖHLER, U., ZÖLLNER, R., WERMUTH, M., EMIG, J.: Analyse der Anwendung von Verkehrsnachfragemodellen, *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 804, Bonn 2001
- KOHNEN, R.: Routenidentifikation in Verkehrsnetzen auf der Grundlage unscharfer Ortungsinformationen (GSM), Schriftenreihe des Instituts für Verkehr und Stadtbauwesen der TU Braunschweig, Bd. 52, Braunschweig 2003
- KOHNEN, R.: Erhebung der individuellen Routenwahl im Fernstraßennetz zur Verbesserung von Umlegungsmodellen, Anforderungsdefinition, internes Arbeitspapier, Stand: 16.10.2003
- KRELLE, W.: Präferenz- und Entscheidungstheorien, Coenen-Verlag, Tübingen 1968
- LEUTZBACH, W., HAAS, M., PAPAVALIOU, V., SCHWERDTFEGGER, Th.: Dynamische Umlegung in Verkehrsnetzen, *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 469, Bonn 1986
- LYNCH, K.: The image of the city, Publication of the Joint Center for Urban Studies, Bruckner & Thünker Verlag, Köln/Basel 1960
- PATRIKSSON, M.: The traffic assignment problem: Models and methods, VSP BV [zitiert in HAN (2001), S. 133]
- POLUMSKY, D.: Dynamisierung von Verkehrsumlegungsmodellen, *Stadt Region Land*, Schriftenreihe des Instituts für Stadtbauwesen RWTH Aachen, Heft 35, Aachen 1987

- PTV AG: Benutzerhandbuch VISUM 7.50, Karlsruhe 2001
- REICHENBACH, E.: Wegewahl als kognitiver Prozess, Dissertation, Institut für Regionalwissenschaft, TH Karlsruhe, 1979
- RIBBECK, K.: Routensuche in Stadtstraßennetzen, Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 134, 1972
- SCHNABEL, W., LOHSE, D.: Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung, Band 2: Verkehrsplanung, Verlag für Bauwesen, Berlin 1997
- SCHOFER, J., KHATTAK, A., KOPPELMANN, F.: Behavioural issues in the design and evaluation of advanced traveller information systems, Transportation Research C, 1 (2) 107-117, 1993
- SCHUSTER, G., KRAUSE, J.: Radfahren in der Stadt, Institut für Städtebau, Wohnungswesen und Landesplanung, TU Braunschweig, 1984
- SERWILL, D.: DRUM – Modellkonzept zur dynamischen Routensuche und Umlegung, Stadt Region Land, Schriftenreihe des Instituts für Stadtbauwesen RWTH Aachen, Heft 43, Aachen 1994
- SOMMER, C.: Telematikbasiertes Verfahren zur Erhebung des Verkehrsverhaltens. In: Heureka 2002 – Optimierung in Verkehr und Transport, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2002
- SOMMER, C., VOIGT, R.: Online-Erfassung des Verkehrsverhaltens mittels Mobilfunktechnik, Straßenverkehrstechnik, Heft 10, 2003
- TIMPF, S., EGENHOFER, M., FRANK, A.: Ein konzeptionelles Modell für Navigation in Fernstraßennetzen. In: Zeitschrift für Verkehrswissenschaften 122 (2), 1997
- TROMMSDORF, V.: Konsumentenverhalten, Kohlhammer-Verlag, Stuttgart 1993
- UNGER, H.: Modellierung des Verhaltens autonomer Verkehrsteilnehmer in einer variablen städtischen Umgebung, Technische Universität Berlin, Berlin 2002
- WERMUTH, M.: Ein GSM-basiertes Verfahren zur Erhebung von Mobilitätsdaten. In: Straßenverkehrstechnik, Heft 6/2001, S. 269ff., Bonn 2001
- WERMUTH, M.: Verkehrsnachfragemodelle, in: Köhler, U. (Hrsg.): Verkehr – Straße, Schiene, Luft, Ernst & Sohn Verlag, Berlin 2001
- WERMUTH, M., FIRL, K., SOMMER, C., WULFF, S., GARBEN, M., HECK, H.: TTS TeleTravel Services – Orts- und personenbezogene Mobilitätsdienste, Schlussbericht zum Forschungsprojekt, Braunschweig 2003
- WERMUTH, M., GARBEN, M., JANECKE, J., WIRTH, R.: TTS TeleTravel System – Telematiksystem zur automatischen Erfassung des Verkehrsverhaltens, Schlussbericht zum Forschungsprojekt, Braunschweig 2001
- WERMUTH, M., HAUTZINGER, H., HEIDEMANN, D. et al.: Kontinuierliche Befragung des Wirtschaftsverkehrs in unterschiedlichen Siedlungsräumen. Phase 1, Methodenstudie/Vorbereitung der Befragung, FE 70.632/2000 des BMVBW, Schlussbericht zum Forschungsprojekt, Braunschweig 2001
- WERMUTH, M., MAERSCHALK, G., BRÖG, W.: Verfahren zur Gewinnung repräsentativer Ergebnisse aus schriftlichen Haushaltsbefragungen zum Verkehrsverhalten, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 424, Bonn 1984

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

### Unterreihe „Verkehrstechnik“

## 2000

- V 74: Einsatzbereiche von Angebotsstreifen**  
Hupfer, Böer, Huwer, Jacob, Nagel € 13,50
- V 75: Gesamtwirkungsanalyse zur Parkraumbewirtschaftung**  
Baier, Hebel, Peter, Schäfer € 15,00
- V 76: Radverkehrsführung an Haltestellen**  
Angenendt, Blase, Bräuer, Draeger, Klöckner, Wilken € 14,00
- V 77: Folgerungen aus europäischen F+E-Telematikprogrammen für Verkehrsleitsysteme in Deutschland**  
Philipp, Dies, Richter, Zackor, Listl, Möller € 18,50
- V 78: Kennlinien der Parkraumnachfrage**  
Gerlach, Dohmen, Blochwitz, Engels, Funke, Harman, Schmidt, Zimmermann € 15,50

## 2001

- V 79: Bedarf für Fahrradabstellplätze bei unterschiedlichen Grundstücksnutzungen**  
Alrutz, Bohle, Borstelmann, Krawczyk, Mader, Müller, Vohl € 15,50
- V 80: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 1998**  
Lensing € 13,50
- V 81: Emissionen beim Erhitzen von Fahrbahnmarkierungsmaterialien**  
Michalski, Spyra € 11,50
- V 82: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 1999 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen**  
Laffont, Nierhoff, Schmidt € 19,50
- V 83: Verkehrssicherheit in Einbahnstraßen mit gegengerichtetem Radverkehr**  
Alrutz, Gündel, Stellmacher-Hein, Lerner, Mättig, Meyhöfer, Angenendt, Draeger, Falkenberg, Klöckner, Abu-Salah, Blase, Rühle, Wilken € 17,00
- V 84: Vereinfachtes Hochrechnungsverfahren für Außerorts-Straßenverkehrszählungen**  
Lensing, Mavridis, Täubner € 16,00
- V 85: Erstellung einer einheitlichen Logik für die Zielführung (Wegweisung) in Städten**  
Siegener, Träger € 14,50
- V 86: Neue Gütekriterien für die Beleuchtung von Straßen mit gemischtem Verkehr und hohem Fußgängeranteil**  
Carraro, Eckert, Jordanova, Kschischenk € 13,00
- V 87: Verkehrssicherheit von Steigungsstrecken – Kriterien für Zusatzfahrstreifen**  
Brilon, Breßler € 18,50

## 2002

- V 88: Tägliches Fernpendeln und sekundär induzierter Verkehr**  
Vogt, Lenz, Kalter, Dobeschinsky, Breuer € 17,50

- V 89: Verkehrsqualität auf Busspuren bei Mitnutzung durch andere Verkehre**  
Baier, Kathmann, Schuckließ, Trapp, Baier, Schäfer € 13,50
- V 90: Anprallversuche mit Motorrädern an passiven Schutzeinrichtungen**  
Bürkle, Berg € 16,50
- V 91: Auswirkungen der Umnutzung von BAB-Standstreifen**  
Mattheis € 15,50
- V 92: Nahverkehrsbevorrechtigung an Lichtsignalanlagen unter besonderer Berücksichtigung des nichtmotorisierten Verkehrs**  
Friedrich, Fischer € 14,00
- V 93: Nothaltemöglichkeiten an stark belasteten Bundesfernstraßen**  
Brilon, Bäumer € 17,00
- V 94: Freigabe von Seitenstreifen an Bundesautobahnen**  
Lemke, Moritz € 17,00
- V 95: Führung des ÖPNV in kleinen Kreisverkehren**  
Topp, Lagemann, Derstroff, Klink, Lentze, Lübke, Ohlschmid, Pires-Pinto, Thömmes € 14,00
- V 96: Mittellage-Haltestellen mit Fahrbahnhebung**  
Angenendt, Bräuer, Klöckner, Cossé, Roeterink, Sprung, Wilken € 16,00
- V 97: Linksparken in städtischen Straßen**  
Topp, Riel, Albert, Bugiel, Elgun, Roßmark, Stahl € 13,50
- V 98: Sicherheitsaudit für Straßen (SAS) in Deutschland**  
Baier, Bark, Brühning, Krumm, Meewes, Nikolaus, Räder-Großmann, Rohloff, Schweinhuber € 15,00
- V 99: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2000 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen**  
Laffont, Nierhoff, Schmidt € 21,00

## 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, Cossé, 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 112: Einsatzkriterien für Betonschutzwände  
Steinauer, Kathmann, Mayer, Becher vergriffen
- V 113: Car-Sharing in kleinen und mittleren Gemeinden  
Schweig, Keuchel, Kleine-Wiskott, Hermes, van Hacken € 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: PM<sub>10</sub>-Emissionen an Außerortstraßen – mit Zusatzuntersuchung zum Vergleich der PM<sub>10</sub>-Konzentrationen aus Messungen an der A1 Hamburg und Ausbreitungsberechnungen  
Düring, Bösinger, 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<sub>x</sub>-Belastungen an BAB  
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,00

---

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

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

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.