

# Voraussetzungen für dynamische Wegweisung mit integrierten Stau- und Reisezeitinformationen

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen Heft V 181

Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 181

**bast**

# Voraussetzungen für dynamische Wegweisung mit integrierten Stau- und Reisezeitinformationen

von

Uwe Hülsemann

SSP Consult, Beratende Ingenieure GmbH  
Bergisch Gladbach

Josef F. Krems  
Matthias J. Henning  
Ulrike Thiemer

Technische Universität Chemnitz  
Institut für Psychologie

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Verkehrstechnik Heft V 181**

**bast**

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

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

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

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

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

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

## Impressum

**Bericht zum Forschungsprojekt 03.392/2005/IGB:**  
 Voraussetzungen und Möglichkeiten zur Anzeige von Reisezeitinformationen in neuen Anzeigesystemen dWiSta auf Bundesautobahnen

**Projektbetreuung**  
 Sylvia Piszczek

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

**Redaktion**  
 Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

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

ISSN 0943-9331  
 ISBN 978-3-86509-886-3

Bergisch Gladbach, Juli 2009

## Kurzfassung – Abstract

### Voraussetzungen für dynamische Wegweisung mit integrierten Stau- und Reisezeitinformationen

Zur Unterstützung der in „dynamischen Wegweisern mit integrierten Stauinformationen“ (dWiSta) gegebenen Umleitungsempfehlungen können, ergänzend oder alternativ zur Angabe der Staulänge Reisezeitinformationen angezeigt werden. Das Forschungsvorhaben untersucht, ob geeignete Verfahren zur Berechnung/Erhebung von Fahrtzeiten auf Autobahnen vorhanden sind, und entwickelt für den Verkehrsteilnehmer verständliche Darstellungsformen der Reisezeitinformationen in den dWiSta.

Es wurden vier, bereits eingesetzte Verfahren zur Berechnung bzw. Messung von Fahrtzeiten und ein eigener Ansatz untersucht. Vier Verfahren nutzen als wesentliche Eingangsgrößen die von der stationären Datenerfassung an den Autobahnen bereitgestellten Verkehrskenngrößen. Ein Verfahren erkennt die Fahrzeuge an zwei Messquerschnitten wieder und berechnet die Fahrtzeit auf dem Streckenabschnitt als Differenz der Uhrzeiten bei der Überfahrt der Messquerschnitte.

Die Verfahren wurden hinsichtlich ihrer Eignung in einem zweiwöchigen Testzeitraum auf drei ausgewählten Teststrecken überprüft. Der Vergleich der per Kontrollmessung erhobenen Fahrtzeiten mit den berechneten der einzelnen Verfahren zeigt bei günstigen Randbedingungen gute Übereinstimmungen. Günstige Randbedingungen liegen im Allgemeinen dann vor, wenn die Messquerschnittsabstände etwa bis zu 2 km auseinander liegen und die Verkehrsstörung, die eine Fahrtzeitverlängerung bewirkt, sich in den Verkehrskenngrößen widerspiegelt.

Bei einem freien sowie dichten Verkehrsfluss betragen dann die Unterschiede, bezogen auf eine 10 km lange Bezugsstrecke, in der Regel weniger als eine Minute.

Für die Verkehrsstufen „zähfließend“ und „gestaut“ ist die Datengrundlage für eine Beurteilung der Berechnungsverfahren nicht ausreichend.

Im wahrnehmungspsychologischen Teilprojekt werden aus zehn Vorschlägen möglicher Anzeigeformen u. a. durch eine Befragung von Kraftfahrern drei Varianten sowie die Regellösung (ohne Reise-

zeitinformation) in einer experimental-psychologischen Laboruntersuchung getestet. Der Test besteht aus Entscheidungsaufgaben unter vorgegebenen Kriterien, der vollständigen Informationsaufnahme aller Schildinhalte unter Zeitdruck sowie einer subjektiven Einschätzung der Varianten auf den Dimensionen Lesbarkeit, Verständlichkeit und Akzeptanz.

Keine der getesteten Varianten überschreitet den verfügbaren zeitlichen Rahmen, der sich durch das zweimalige Darbieten des Schildes bei einer Fahrt mit 100 km/h auf der Autobahn ergibt. Die Zeitspanne für die Informationsaufnahme und -verarbeitung und die Entscheidung bleibt in den Laborbefunden weitestgehend innerhalb dieser Grenzen.

Aus Sicht der Verkehrsteilnehmer bietet die Variante, die nur die Information über einen möglichen Reisezeitgewinn durch die Nutzung der Umfahrung explizit anzeigt, die optimale Anzeigeform. Sie vereint eine schnelle Informationsaufnahme durch möglichst wenig zusätzliche Informationen mit einer guten Verständlichkeit.

Im weiteren Verlauf des Forschungsvorhabens wird auf technische und betriebliche Randbedingungen eingegangen, die bei der Berechnung und der Anzeige von Reisezeitinformationen in dWiSta zu beachten sind. Die Notwendigkeit automatisierter Steuerungsmodule zur Empfehlung/Schaltung einer Alternativroute im Störfall wird aufgezeigt, aber im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nicht näher untersucht.

### Requirements on dynamic route signs with integrated traffic jam and travel time information

Up to now, dynamic signs with integrated information about traffic congestion (dWiSta, „dynamische Wegweiser mit integrierten Stauinformationen“) give detour recommendations to the driver when there is a traffic jam, and display its length. The idea of this project is to display travel time information additionally or alternatively to support the existing dynamic signs. The current study examines if there are any suitable methods for calculating and collecting travel times on

motorways. It also develops some formats to integrate travel time information in the dWiSta, which are understandable and comprehensible for the driver.

Four methods to measure and calculate travel times, which are available on the market, and an own approach were examined. Four methods make use of the traffic parameters from static data collection at the motorways. One method recognises the car at two measuring points and computes the travel time on the route section as the difference between the time codes when passing the measuring points.

The applicability of these methods was tested for two weeks on three selected test routes. The travel times of a control measurement were compared to the computed ones of each method. The result shows a high correspondence between these values dependent on the boundary conditions. Favourable boundary conditions are generally given, when the measuring points are up to 2 km away from each other and when the traffic incident causing longer travel times is reflected by the traffic parameters.

On a route section of 10 km, the values differ less than one minute during a free or dense flow of traffic.

To evaluate calculated travel times by different methods in tough flow of traffic or traffic congestion the database is too short.

In a psychological laboratory test, 3 possible display formats out of 10 proposals and the general solution (without travel time information) are examined, among others by a survey among drivers. This test consists of decision tasks with given criteria, the whole assimilation of information of the contents of a sign under time pressure and the subjective evaluation of the different sign variations with regard to readability, comprehensibility and acceptance.

None of the tested sign versions exceeds the available time frame, which results from the presentation of the sign two times during driving on the motorway at a speed of 100 km/h. The time span for perceiving and processing the information and for making decisions mainly stays within these limits in the laboratory test.

The optimal sign variation from the drivers' perspective is the one, which only shows the

information about the possible travel time gained by using the recommended detour. It combines a fast assimilation of information due to less additional information as far as possible with a good comprehensibility.

Furthermore, some technical and operational constraints are investigated, that are to be followed when calculating travel times and showing travel time information on dWiSta signs. The necessity of automated control devices for the recommendation of alternative routes in the case of incidents is pointed out. This aspect is however not regarded in detail in the context of this investigation.

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Ausgangssituation/Aufgabenstellung</b> .....	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>Bewertung der Eignung ausgewählter Verfahren zur Reisezeitberechnung</b> .....	<b>35</b>
1.1	Ausgangssituation/Problemstellung .....	9	3.1	Eingangsgrößen und Ergebnisse der in den Praxistest einbezogenen Verfahren .....	35
1.2	Aufgabenstellung und methodisches Vorgehen .....	10	3.2	Auswahl und Beschreibung der Teststrecken .....	35
<b>2</b>	<b>Literatur- und Datenrecherche</b> .....	<b>10</b>	3.2.1	Ablauf Praxistest .....	35
2.1	Einleitung Reisezeitberechnungen .....	10	3.2.2	Gewählte Teststrecken .....	37
2.2	Reisezeitberechnungen mittels Verkehrskenngrößen .....	11	3.2.3	Teststrecke A 5 .....	38
2.2.1	Überblick .....	11	3.2.4	Teststrecke A 8 .....	39
2.2.2	Reisezeitinformationen in den USA .....	12	3.2.5	Teststrecke A 42 .....	40
2.2.3	Reisezeitinformationen in Australien .....	13	3.3	Kontrollerhebungen mittels Kennzeichenerfassung per Video .....	44
2.2.4	Reisezeitinformationen in Europa .....	14	3.3.1	Methodik .....	44
2.2.5	Deutsche Projekte .....	17	3.3.2	Ableitung der Pkw-Reisegeschwindigkeit aus den Kontrollmessungen, Kontrollstrecke A 5 .....	46
2.2.6	Verfahren OLSIM .....	17	3.3.3	Ableitung der Pkw-Reisegeschwindigkeit aus den Kontrollmessungen, Kontrollstrecke A 8 .....	46
2.2.7	Verfahren ddg .....	19	3.3.4	Ableitung der Pkw-Reisegeschwindigkeit aus den Kontrollmessungen, Kontrollstrecke A 42 .....	48
2.2.8	Störfallerkennungsprogramm ASDA/FOTO .....	22	3.4	Kontrollfahrten .....	48
2.2.9	Verfahren „EINFACHER ANSATZ“ .....	24	3.5	Einschätzung der Verfahren anhand der videobasierten Fahrtzeitmessungen .....	49
2.3	Direkte Messung von Reisezeiten .....	25	3.5.1	Differenzierung nach Verkehrsstufen .....	49
2.3.1	Unterteilung der Verfahren .....	25	3.5.2	Beurteilungsumfang .....	50
2.3.2	Floating Car Data .....	25	3.5.3	Verfahren OLSIM .....	51
2.3.3	Mustererkennung mittels Video .....	26	3.5.4	Verfahren ddg .....	51
2.3.4	Mustererkennung mittels Induktivschleifen – Verfahren MAVE-S .....	28	3.5.5	Verfahren ASDA/FOTO .....	53
2.3.5	Wiedererkennung über Mautdaten .....	29	3.5.6	Verfahren EINFACHER ANSATZ .....	55
2.3.6	Zusammenfassung der Ergebnisse der Recherche zum Thema Reisezeitberechnung .....	30	3.5.7	Verfahren MAVE-S .....	57
2.3.7	Ausgewählte Verfahren für den Praxistest .....	31	3.5.8	Zusammenfassende Einschätzung .....	59
2.4	Wahrnehmungspsychologische Aspekte der Schildergestaltung .....	31	3.6	Einschätzung der Verfahren anhand ausgewählter Zeitbereiche .....	60
2.4.1	Einführung .....	31	3.6.1	Einführung .....	60
2.4.2	Erkenntnisse aus wahrnehmungspsychologischen Untersuchungen zur Schildergestaltung .....	32	3.6.2	Teststrecke A 5 .....	60
2.4.3	Entscheidungsaspekte bei Reisezeitangaben .....	33	3.6.3	Teststrecke A 8 .....	65
2.4.4	Akzeptanz von Reisezeitangaben .....	34			
2.4.5	Resümee .....	34			

3.6.4	Teststrecke A 42 .....	69	5.3.3	Ergebnisse .....	103
3.7	Fahrtzeitangaben bei gestautem Verkehr .....	72	5.3.4	Abschließende Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung .....	114
3.8	Datenausfälle stationärer Messstellen und Datenersatzverfahren .....	74	<b>6</b>	<b>Ergebnisse und Empfehlungen</b> .....	116
3.9	Prognosefähigkeit der Verfahren .....	76	6.1	Reisezeitberechnung .....	116
3.10	Zusammenfassende Einschätzung ...	77	6.2	Anzeigehalte und -formen für Reisezeitinformationen .....	117
<b>4</b>	<b>Betriebliche und technische Randbedingungen bei der Anzeige von Reisezeitinformationen</b> .....	77	6.3	Praktische Anwendung .....	117
4.1	Technische Infrastruktur .....	77	6.4	Weiterer Forschungsbedarf .....	119
4.1.1	Datenerfassung .....	77	<b>7</b>	<b>Literatur</b> .....	119
4.1.2	Zweckmäßige Messstellendichte .....	78			
4.1.3	Bereitstellung der berechneten Fahrtzeiten .....	80			
4.2	Betriebliche Randbedingungen .....	81			
4.2.1	Hinweise zu Schaltungen von Reisezeitinformationen in dWiSta .....	81			
4.2.2	Schwellenwerte, ab denen Alternativrouten angezeigt werden (sollten) ...	81			
4.3	Entwicklungspotenziale der Berechnungsverfahren .....	82			
4.4	Auswahlkriterien .....	83			
<b>5</b>	<b>Wahrnehmungspsychologische Aspekte der Einbettung von Reisezeitinformationen</b> .....	84			
5.1	Entwurf der Anzeigekonzepte und Vorauswahl .....	84			
5.2	Vorbefragung zur Auswahl der Anzeigekonzepte .....	87			
5.2.1	Anforderungen an die Interviewgestaltung .....	87			
5.2.2	Die Interviewvarianten .....	88			
5.2.3	Orte und Zeitraum der Befragung .....	91			
5.2.4	Stichprobe .....	91			
5.2.5	Ergebnisse .....	93			
5.2.6	Fehlerhafte Interpretationen des Gesamtschildes .....	95			
5.2.7	Interpretation .....	96			
5.2.8	Fazit .....	96			
5.3	Wahrnehmungspsychologisches Laborexperiment .....	97			
5.3.1	Einführung .....	97			
5.3.2	Methode .....	97			

## Glossar

		Kontrollmessung	Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens: Gemeint ist immer die videobasierte Fahrtzeitmessung auf der → Kontrollstrecke.
AD	Autobahndreieck		
AK	Autobahnkreuz	Kontrollstrecke	Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens: Teilabschnitt einer → Teststrecke, auf der mittels Kennzeichenerfassung per Video Fahrtzeiten von Pkw direkt gemessen wurden.
AS	Anschlussstelle		
ASDA/FOTO	ASDA  Automatische Staudynamikanalyse FOTO Forecasting Of Traffic Objects Verfahren zur Störfall-erkennung- und Verkehrsvorhersage (Verkehrszustände und Fahrtzeiten). Das System wird von der Firma PTV vertrieben.	LMS	Landesmeldestelle
		MARZ	Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen
ASF	Autoroutes du Sud de la France	MAVE-S	Verfahren zur Messung von Fahrtzeiten mittels schleifenbasierter Wiedererkennung von Fahrzeugen. Das System wird von der Firma ave Verkehrs- und Informationstechnik GmbH vertrieben.
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung		
CMS	Changable Message Sign → VMS		
ddg	Gesellschaft für Verkehrsdaten mbH  Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wird das von der Firma ddg entwickelte und gepflegte Verfahren zur Verkehrsvorhersage auf Basis von Verkehrsmodellrechnungen der Einfachheit halber als „Verfahren ddg“ bezeichnet.	MQ	Messquerschnitt
		NMS	Nationale Meldestelle
		NRW	Nordrhein-Westfalen
		OLSIM	Online Simulation Verkehrssimulationsverfahren, basierend auf dem Prinzip des Zellularautomaten. Berechnet werden aktuelle und prognostische Verkehrszustände und Fahrtzeiten ausgewählter Streckenabschnitte für das nordrhein-westfälische Autobahnnetz. Das Modell wird von der Universität Duisburg entwickelt und gepflegt.
DMS	Dynamic Message Sign → VMS		
dWiSta	Dynamische Wegweiser mit integrierter Stauinformation		
EFC	Electronic Fee Collection System		
FCD	Floating Car Data		
GPRS	General Packet Radio Service	Q	Querschnittsbezogene Fahrzeugmenge je Zeiteinheit
GPS	Global Positioning System	q	Fahrstreifenbezogene Fahrzeugmenge je Zeiteinheit
GSM	Global System for Mobile Communications	RDS	Radio Data Service
Kontrollfahrt	Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens: Fahrt über die → Teststrecke mit einem Fahrzeug, das mit einem GPS-Tracker ausgestattet ist, der ein Geschwindigkeitsprofil der Fahrt weg- und zeitbezogen aufzeichnet.	SAPRR	Société des Autoroutes Paris-Rhin-Rhône
		SES	Stationäres Erfassungs-System – wird vom Verfahren ddg genutzt
		SMS	Short Message Service

Teststrecke	Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens: Ein über mehrere Anschlussstellen reichender Autobahnabschnitt, für den sowohl die Verkehrskenngrößen der stationären Messquerschnitte vorliegen, als auch die von den dort im Einsatz befindlichen Verfahren berechneten Fahrtzeiten.
TIC	Traffic Information Center
TMC	Traffic Message Channel
TRIM	Traffic Informatics on Motorways (Dänemark)
TROPIC	Traffic Optimisation by the Integration of Information and Control. EU-Projekt zur Wahrnehmung variabler Informationstafeln
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
V	Querschnittsbezogene Geschwindigkeit
v	Fahrstreifenbezogene Geschwindigkeit
VIZ	Verkehrsinformationszentrale
VMS	Variable Message Sign – (meist) frei programmierbare Verkehrsinformationstafel
VRZ	Verkehrsrechnerzentrale

# 1 Ausgangssituation/Aufgabenstellung

## 1.1 Ausgangssituation/Problemstellung

Im Hinblick auf Informationen bezüglich des aktuellen Verkehrszustands während der Fahrt, sind Verkehrsteilnehmer meist auf Verkehrsmeldungen im frei zugänglichen Rundfunk, dem Radio Data Service (Traffic Message Channel) RDS – TMC oder speziellen Anbietern von (meist kostenpflichtigen) Verkehrsinformationen angewiesen.

Die statische Wegweisung gibt dem Verkehrsteilnehmer keinerlei Informationen über die aktuelle Verkehrssituation auf seiner Route. Eine Weiterentwicklung der statischen Wegweisung erfolgte durch die Einführung der substitutiven und additiven Wechselwegweisung. Aber auch bei der dynamischen, früher meist in Prismentechnik ausgelegten Wechselwegweisung erhalten Verkehrsteilnehmer in der Regel keine Begründung für die aktuell ausgeschilderte Wegweisung. Dies führt einerseits zu Akzeptanzeinbußen bei den Verkehrsteilnehmern, andererseits können durch die beschränkte Anzahl von Zielen auf einem Wegweiser, je nach Situation, auch Verkehrsströme umgeleitet werden, für die die Umleitung nicht oder nur bedingt vorteilhaft ist.

In den letzten Jahren wurden „dynamische Wegweiser mit integrierten **Stau**informationen“ (dWiSta) neu entwickelt. Sie eröffnen durch die freie Programmierbarkeit der Textzeilen neue und verbesserte Möglichkeiten zur Information der Verkehrsteilnehmer, insbesondere im Fall von Verkehrsstörungen. Grund und Ausmaß der Störung können in einem dWiSta mit angegeben werden. Das Ausmaß der Störung kann beispielsweise als Staulänge oder als Reisezeit(verlängerung) angegeben werden.

Die grundsätzliche Gestaltung der dWiSta wurde, unter Einbeziehung der Ergebnisse des Forschungsvorhabens zu „Dynamischen Verkehrsinformationstafeln“ [21] bundesweit abgestimmt und ist in den Hinweisen für die einheitliche Gestaltung und Anwendung an Bundesfernstraßen [11] beschrieben. Demnach werden Staulängen, aber keine Reisezeiten bzw. Fahrtzeiten<sup>1</sup> angezeigt.

Die Reisezeit ist für den Verkehrsteilnehmer eine zentrale Größe und wird direkt wahrgenommen. Sie ist bei alternativen Routen oder Verkehrsmitteln

häufig eine wichtige oder sogar entscheidende Grundlage für die Wahl der Route bzw. des Verkehrsmittels. Von daher ist es nahe liegend, Reisezeitinformationen auch verstärkt im Rahmen der Wegweisung einzusetzen. Es wird dadurch eine verbesserte Akzeptanz der Befolgung erwartet.

Zur Berechnung von Reisezeiten bzw. Reisezeitverlängerungen stehen, je nach Anwendungsfall und Datengrundlagen, verschiedene Verfahren zur Verfügung. Es gibt allerdings keine verbindlichen Empfehlungen, Vorschriften oder Ähnliches zur Berechnung von Reisezeiten bzw. Fahrtzeitverlängerungen. Ebenso wenig gibt es anwendungsfallbezogene Empfehlungen für oder gegen den Einsatz bestimmter Rechenalgorithmen.

Die zunehmende Verdichtung der Verkehrsdatenerfassung verbessert die Grundlagen für Reisezeitberechnungen. Weiterentwicklungen der Berechnungsverfahren und der Informationsdarstellungen werden in vielen Ländern betrieben, u. a. im Rahmen des von der EU geförderten euroregionalen Programms SERTI.

Im Ausland werden Reisezeitinformationen bereits seit mehreren Jahren in vielfältiger Form angezeigt. Die dort gemachten Erfahrungen mit der Anzeige von Reisezeitinformationen werden durchweg positiv eingeschätzt. Die Angabe von Reisezeiten bzw. Reisezeitverlängerungen als integraler Bestandteil der Wegweisung ist in Deutschland derzeit noch die Ausnahme. Aufgrund ihrer Flexibilität bieten sich die dWiSta als geeignetes Anzeigemedium dafür an.

Gesicherte Erkenntnisse im Hinblick auf die Gestaltung der Reisezeitinformation in dWiSta und deren Akzeptanz durch die Verkehrsteilnehmer liegen nicht vor. Schwerpunkte dieses Forschungsvorhabens bilden die beiden nachfolgend genannten Problemstellungen:

- Auswahl geeigneter Verfahren zur Bestimmung von Reisezeiten bzw. Reisezeitverlängerungen sowie
- Bestimmung geeigneter Anzeigehalte und -formen.

<sup>1</sup> Reisezeit und Fahrtzeit werden in diesem Bericht als synonyme Begriffe verwendet und beziehen sich immer auf einen Autobahnabschnitt.

Die Aufstellung von dWiSta erfolgt vorrangig im Bundesautobahnnetz an Knotenpunkten, d. h. Autobahndreiecken oder -kreuzen, an denen die Möglichkeit zum Ausweichen auf Alternativrouten gegeben ist. Von daher fokussiert sich diese Untersuchung auf die Reisezeitermittlung auf Autobahnen. Die Ermittlung und Anzeige von Reisezeitinformationen auf innerstädtischen Hauptverkehrsstraßen spielten im Rahmen dieser Studie keine Rolle.

## 1.2 Aufgabenstellung und methodisches Vorgehen

Wesentliche Ziele der Untersuchung sind, geeignete Verfahren für die Ermittlung von Fahrtzeiten auf bundesdeutschen Autobahnen vorzuschlagen und für den Verkehrsteilnehmer verständliche Darstellungsformen für die Integration von Reisezeitinformationen in die dynamische Wegweisung zu entwickeln. Beide Arbeitspakete, Ermittlung von Reisezeiten und die Entwicklung einer optimalen Anzeigeform, können weitgehend unabhängig voneinander bearbeitet werden.

Im ersten Arbeitspaket werden im Einsatz befindliche Berechnungsverfahren aufgezeigt, beschrieben und hinsichtlich eines Einsatzes auf bundesdeutschen Autobahnen beurteilt. Die als „grundsätzlich geeignet“ eingestuften Verfahren werden anschließend in einem Praxistest erprobt. Die von den einbezogenen Verfahren berechneten Fahrtzeiten werden mit den Ergebnissen eigens hierfür durchgeführter Fahrtzeitmessungen und Kontrollfahrten verglichen. Ergänzend dazu werden spezifische Charakteristika der Verfahren und – soweit vorhanden – relevante Unterschiede zwischen den Verfahren aufgezeigt. Ziel des Vergleichs ist es, zu beurteilen, ob und gegebenenfalls unter welchen Randbedingungen die Verfahren geeignet sind, ausreichend zuverlässige und genaue Fahrtzeiten für die Anzeige in dWiSta zu berechnen.

Aus Sicht des Verkehrsteilnehmers kommt neben der Verlässlichkeit der Begreifbarkeit der angezeigten Informationen große Bedeutung zu. Die Begreifbarkeit bzw. Verständlichkeit der Information ist abhängig von dem eigentlichen Anzeigehalt und der Schildergestaltung. Sie stehen im Fokus der wahrnehmungspsychologischen Untersuchung, dem zweiten Arbeitspaket.

Zunächst werden die generellen Rahmenbedingungen aufgezeigt und mögliche Anzeigekonzepte entwickelt. Alle Konzepte berücksichtigen die Gestal-

tungshinweise für dWiSta [11]. Die Grundform der dWiSta mit ihrer Einteilung in Symbol- und Textfelder bleibt in allen Fällen erhalten, sodass keine technischen Änderungen an den Schildern notwendig werden.

In einem weiteren Arbeitsschritt werden Schilderkonzepte von Experten vorausgewählt. Anschließend werden Autobahnnutzer nach ihrer Meinung zu den Schilderhalten und deren Verständlichkeit befragt. Im Ergebnis der Expertendiskussion und der Befragung von Verkehrsteilnehmern werden die als „am besten“ eingestuften Schilder in einem wahrnehmungspsychologischen Test detailliert untersucht. Die Ergebnisse dieses Tests fließen in konkrete Vorschläge zur Gestaltung von dWiSta mit Reisezeitinformationen ein.

Im Ergebnis der Gesamtuntersuchung liegen dann Empfehlungen für geeignete Verfahren zur Berechnung von Reisezeiten und deren Anzeige in dWiSta vor. Bei den Vorschlägen werden, neben der Verständlichkeit und Begreifbarkeit der Schilder für den Verkehrsteilnehmer, auch betriebliche und wirtschaftliche Aspekte berücksichtigt.

Nicht Gegenstand dieses Forschungsvorhabens ist die Einschätzung oder Entwicklung von Steuerungsverfahren zur dynamischen Ausweisung von Alternativrouten. Die Reisezeit ist hierbei ein wichtiges Kriterium, als alleiniger Entscheidungsparameter reicht sie allerdings nicht aus. Bei einer Alternativroutenempfehlung sind beispielsweise auch die voraussichtliche Störungsdauer und die veränderte Verkehrssituation, die sich durch Verlagerungen auf die Alternativroute einstellt, mit zu berücksichtigen.

## 2 Literatur- und Datenrecherche

### 2.1 Einleitung Reisezeitberechnungen

Die Verfahren zur Berechnung der Reisezeit lassen sich drei Gruppen zuordnen:

1. Berechnung über feste, streckentypbezogene Geschwindigkeiten,
2. Berechnung mittels Verkehrskenngrößen,
3. direkte Messung der Reisezeiten einzelner oder mehrerer Fahrzeuge.

Die einfachste Methode ist die Berechnung von Reisezeiten anhand von streckentypischen, meist mittleren Geschwindigkeiten. Bei diesen Verfahren

(Gruppe 1) werden den einzelnen Streckenabschnitten Geschwindigkeiten fest zugewiesen, z. B. einem Autobahnabschnitt 120 km/h für Pkw oder die zulässige Höchstgeschwindigkeit auf dem Abschnitt. Die Fahrtzeit auf einem Abschnitt ergibt sich dann aus der Division der Streckenlänge durch die zugewiesene Abschnittsgeschwindigkeit. Verläuft die Route über mehrere Streckenabschnitte mit unterschiedlicher Geschwindigkeit wird jeder Abschnitt einzeln berechnet und anschließend die Gesamtreisezeit durch Summation der Einzelabschnitte bestimmt. Diese Verfahren werden z. B. sehr oft bei Routenplanern eingesetzt.

Sie haben den gravierenden Nachteil, dass der aktuelle Verkehrszustand, der die tatsächliche Geschwindigkeit maßgeblich beeinflusst, nicht berücksichtigt wird. Es wird unabhängig vom Verkehrszustand immer die gleiche Fahrtzeit ermittelt. Eine dynamische, alternative Routenempfehlung lässt sich damit nicht begründen. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wird auf diese sehr einfachen Verfahren deshalb nicht näher eingegangen.

Eine Verfeinerung des oben genannten Berechnungsprinzips ließe sich erreichen, wenn einem Streckenabschnitt nicht nur ein fester Geschwindigkeitswert, sondern mehrere, zeitbezogene (ganglienbezogene) Geschwindigkeiten zugewiesen werden. Aber auch in diesem Fall kann mit der verbesserten Reisezeitberechnung keine Routenempfehlung erfolgen, die die momentane Verkehrssituation, insbesondere bei einem gestörten Verkehrsablauf, berücksichtigt. Aufgrund dessen werden diese Verfahren ebenfalls nicht berücksichtigt.

Häufig werden aktuell ermittelte Verkehrskenngrößen zur Reisezeitberechnung verwendet (Gruppe 2), z. B. Verkehrsstärken, -dichten, lokale Geschwindigkeiten, oft auch in Kombinationen. Die eingesetzten Verfahren können mehr oder weniger komplex sein. Sie reichen von einfachen Geschwindigkeitsfunktionen (z. B. q-v-Funktionen) bis zu komplexen Verkehrsmodellen. Für den Gültigkeitsbereich (Streckenabschnitt) der Verkehrskenngrößen werden mittlere Geschwindigkeiten errechnet, anhand derer die Fahrtzeiten auf dem Abschnitt bestimmt werden. Reisezeiten für mehrere Abschnitte ergeben sich aus der Summation der Einzelabschnitte.

Eine Untergruppe in der Gruppe 2 bilden Störfallerkennungsverfahren, die zunächst anstelle einer gesamten Fahrtzeit verkehrsbedingte Fahrtzeitverlängerungen, z. B. infolge eines Verkehrsstaus ermit-

eln. Diese Fahrtzeitverlängerungen (Verlustzeiten) werden dann auf die Normfahrtzeit addiert.

Die Verfahren der zweiten Gruppe lassen sich in Verkehrsmodelle einpflegen. Damit besteht grundsätzlich die Möglichkeit, Reisezeiten auch unter Berücksichtigung von Verkehrsverlagerungseffekten und/oder prognostisch zu berechnen.

Die Genauigkeit der berechneten Ergebnisse steht in engem Zusammenhang mit der Dichte und Qualität der Datenerfassung sowie den verwendeten Geschwindigkeitsfunktionen. Alle Verfahren sind, da sie die momentane Verkehrssituation auf Haupt- und Alternativroute berücksichtigen, grundsätzlich für dynamische Routenempfehlungen geeignet und werden nachfolgend näher betrachtet.

Die direkte Messung von Reisezeiten (Gruppe 3) wird bislang relativ selten angewendet. In vielen Fällen dient sie der Verifizierung/Eichung von Ergebnissen, die mit Verfahren der Gruppe 2 berechnet wurden. Bei der direkten Messung von Reisezeiten sind alle die Geschwindigkeit beeinflussenden Faktoren implizit enthalten.

Von daher gilt auch für die Verfahren der Gruppe 3, dass sie grundsätzlich für dynamische Routenempfehlungen geeignet sind und mit betrachtet werden.

Im Folgenden werden wesentliche Ergebnisse der Literatur- und Datenrecherche zum Thema „Reisezeitberechnung“ beschrieben. Anhand ausgewählter Praxisbeispiele werden derzeit gebräuchliche Verfahren erläutert. Bereits an dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass – mit wenigen Ausnahmen – die in der Literatur- und Datenrecherche gefundenen Beschreibungen meist grundsätzlicher Natur sind. Genauere oder gar detaillierte Aussagen zu den eingesetzten Rechenalgorithmen, zu technischen Voraussetzungen der Verfahren und/oder zur Genauigkeit der berechneten Fahrtzeiten sind – mit wenigen Ausnahmen – nicht verfügbar. Dies hängt auch damit zusammen, dass es sich bei den Berechnungsverfahren häufig um firmengebundenes Know-how handelt.

## 2.2 Reisezeitberechnungen mittels Verkehrskenngrößen

### 2.2.1 Überblick

Reisezeitberechnungen selbst sind nicht neu und wurden anfangs meist zu planerischen Zwecken durchgeführt. Mit der rasanten Entwicklung des In-

ternets und frei programmierbarer Informationstafeln kommt der Reisezeitberechnung neue Bedeutung zu. Einerseits wird der (potenzielle) Verkehrsteilnehmer über seine voraussichtliche Reisedauer informiert, andererseits trägt die Information dazu bei, den Zeitpunkt der Fahrt und/oder die Routenwahl zu beeinflussen. Beide Aufgaben setzen glaubwürdige und richtige Reisezeitinformationen voraus. Die Mehrzahl der Berechnungsverfahren stützt sich dabei auf Verkehrskenngrößen.

Verkehrskenngrößen sind lokal gemessene oder aus Messungen abgeleitete Werte, die den Verkehrsfluss beschreiben. Die wesentlichen Verkehrskenngrößen im Zusammenhang mit der Reisezeitberechnung sind;

- lokale Geschwindigkeit (differenziert nach Pkw und Lkw),
- Verkehrsstärke (differenziert nach Pkw und Lkw),
- Verkehrsdichte,
- Belegung und
- Zeitlücken.

Diese Werte werden üblicherweise durch ortsfeste, fahrstreifenbezogene Detektoren ermittelt. Zum Einsatz kommen unterschiedliche Detektoren. In die Fahrbahn eingelassene Induktivschleifen sind die am meisten verbreiteten Detektoren. Zunehmend gewinnen auch Videodetektoren an Bedeutung. Im Zusammenhang mit der Reisezeitberechnung spielt die Bauweise des Detektors im Allgemeinen keine Rolle (Ausnahme: Verfahren MAVE-S, siehe Kapitel 2.3.4), zumal nicht die Rohdaten der Detektoren, sondern aggregierte Daten zeitbezogen bereitgestellt werden. In Deutschland sind die Anforderungen an Detektoren in den Technischen Lieferbedingungen für Streckenstationen (TLS), Stand 2002 [12] beschrieben. Das Zeitintervall für die Datenaggregation beträgt üblicherweise eine Minute.

Die Abstände der Datenerfassung variieren in einem großen Bereich und können von wenigen Hundert Metern bis zu mehreren Kilometern reichen. Es gibt auch Netzabschnitte auf deutschen Autobahnen, auf denen keine, für Reisezeitberechnungen nutzbare Datenerfassung vorhanden ist. Diese Abschnitte sind meist nur gering belastet und häufig auch für Umleitungsempfehlungen nicht geeignet, da akzeptable Alternativrouten fehlen.

dWiSta werden an solchen Abschnitten nicht aufgestellt.

Im europäischen wie auch im außereuropäischen Ausland stellt sich die Situation der Datenerfassung ähnlich wie in Deutschland dar. Am dichtesten ist die Datenerfassung in den verkehrlich hoch belasteten Metropolregionen. Hier finden sich auch verstärkt an den Straßen aufgestellte Anzeigesysteme, auf denen dem Kraftfahrer Reisezeitinformationen angezeigt werden. Dies können Reisezeiten zu einem bestimmten Zielpunkt sein, aber auch Verlustzeiten, d. h. Fahrtzeiten, die aufgrund von hohen Verkehrsbelastungen und/oder Verkehrsstörungen über einem durchschnittlichen Wert liegen.

## 2.2.2 Reisezeitinformationen in den USA

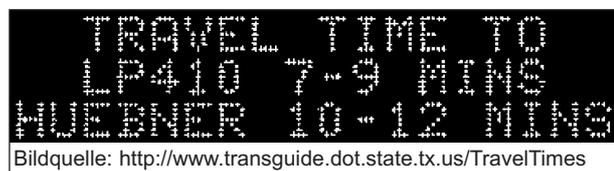
### Überblick USA

Reisezeitberechnungen und eine diesbezügliche Information des Kraftfahrers durch an der Straße montierte Anzeigesysteme sind in den USA seit vielen Jahren üblich. Mit Stand 2005 waren sie in mindestens 17 Bundesstaaten in Gebrauch, in weiteren 18 Bundesstaaten in Vorbereitung [50]. Zuständig ist das jeweilige State Department of Transportation (DOT). Von daher gibt es keine für alle Bundesstaaten einheitliche Regelung, sowohl hinsichtlich der Berechnung der Reisezeit als auch hinsichtlich der Informationsvermittlung.

Der Kraftfahrer wird über Variable Messages Signs (VMS) unterrichtet, die an den Straßen in Seiten- oder Überkopfaufstellung montiert sind. Die Anzeige besteht in der Regel aus einem dreizeiligen, frei programmierbaren Textfeld. Bis 2002 waren in den USA bereits 4.500 VMS im Einsatz.

Angezeigt werden üblicherweise Reisezeiten zu einem bestimmten Ziel (siehe Bild 2.1). Die Anzeigen werden darüber hinaus auch für allgemeine Hinweise und Warnungen genutzt.

Reisezeiten werden meist nur für kürzere oder mittlere Streckenlängen (< 50 km) ermittelt. Als Grund hierfür wird eine mit wachsender Streckenlänge zunehmende Unschärfe der Aussage angeführt.



Bildquelle: <http://www.transguide.dot.state.tx.us/TravelTimes>

**Bild 2.1:** Typische Reisezeitanzeige in den USA

Hinsichtlich der Berechnungsverfahren gehen die verantwortlichen Stellen eher pragmatisch als wissenschaftlich genau vor. Der Kraftfahrer soll in erster Linie informiert werden, Alternativrouten werden üblicherweise nicht angezeigt. In einigen Bundesstaaten werden aktuell berechnete Reisezeitspannen angezeigt, in anderen wird die Angabe der konkret berechneten Fahrtzeit bevorzugt.

Die Eingangsdaten der Rechenalgorithmen stammen in der Regel von Schleifen-, Video- und/oder Radardetektoren. Sie umfassen die klassischen Verkehrskenngrößen Geschwindigkeit, Verkehrsstärke und Belegung. Die Abstände der Detektoren liegen bei etwa 500 m in städtischen Gebieten und können in ländlicheren Gebieten auf über 3 km anwachsen.

Die Algorithmen selbst sind häufig relativ einfach. So werden beispielsweise im System der Stadt Milwaukee die gemessenen Geschwindigkeiten aller Fahrstreifen eines Querschnitts direkt zu einer mittleren Geschwindigkeit zusammengefasst, anhand derer dann die Fahrtzeit für diesen Abschnitt berechnet wird.

$$\text{Fahrtzeit} = \frac{\text{Abschnittslänge}}{\text{Mittlere Geschwindigkeit}}$$

Die Gesamtreisezeit für eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung ergibt sich aus der Summation der Fahrtzeiten auf den Einzelabschnitten.

Erfahrungen bezüglich Reisezeitinformationen werden sowohl von den zuständigen Stellen als auch den Verkehrsteilnehmern durchweg positiv eingeschätzt.

#### Beispiel PeMS

Das Freeway **Performance Measurement System** (PeMS) ist ein gemeinsames Projekt zwischen PATH (Partner for Advance Transit on Highways) und CALTRANS (California Department of Transportation) aus dem Forschungsbereich Traffic Operations Research und wird seit September 2002 in Kalifornien genutzt [16].

Mit Hilfe von Schleifendetektoren werden Daten über Verkehrsfluss, Verkehrsdichte, Auslastung, Geschwindigkeit und Staus von Highways gesammelt. Die Datenerfassung erfolgt im 30-s-Takt. Die Daten werden in einem Bezirksrechner und in einem bezirksübergreifenden Hauptrechner gespeichert und weiterverarbeitet.

Aus den aktuellen Verkehrskenngrößen wird die momentane Verkehrslage erzeugt. Unter Einbeziehung historischer Verkehrsdaten, die mit der aktuellen Verkehrssituation abgeglichen werden, werden Verkehrsbehinderungen, Engpässe u. Ä. prognostiziert.

Die aktuelle Verkehrssituation auf den einzelnen Streckenabschnitten wird mittels sechs Geschwindigkeitsklassen (< 35 mph, 35 – 39 mph, 40 – 44 mph, 45 – 49 mph, 50 – 54 mph, > 55 mph) charakterisiert. Parallel dazu besteht auch die Möglichkeit, sich anstelle der Geschwindigkeit die Belegung der jeweiligen Streckenabschnitte anzeigen zu lassen. Der Verkehrsteilnehmer kann sich vor Fahrtbeginn im Internet ([pems.eecs.berkeley.edu](http://pems.eecs.berkeley.edu)) über die Verkehrslage auf seiner Route informieren. Dazu gibt es entsprechend farbige Karten des Autobahnnetzes; Aktualisierungen erfolgen im 5-Minutenintervall. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, sich aktuelle Fahrtzeiten ausgewählter Routen anzeigen zu lassen. Die Reisezeiten werden sekundengenau angegeben. Eine Nutzung des Systems während der Fahrt ist über ein webfähiges Handy möglich.

PeMS bietet die Möglichkeit, sich die Zuverlässigkeit der Datenerfassung anzusehen. Ebenfalls in sechs Stufen wird die Ausfallrate einzelner Detektoren in Prozent dargestellt. Darüber hinaus kann sich der interessierte Nutzer auch über den Verlauf einzelner Verkehrskenngrößen informieren.

Umfangreiche Informationen zum PeMS können unter der oben genannten Internetadresse abgerufen werden.

#### 2.2.3 Reisezeitinformationen in Australien

Im Raum Melbourne werden Reisezeitinformationen auf strategisch wichtigen Stadtautobahnen über hierfür eigens aufgestellte Schilder gegeben. Angezeigt wird ein Zielpunkt, z. B. eine stromabwärts gelegene Straße, und die zugehörige Fahrtzeit. Die Fahrtzeit wird auf den Schildern ausdrücklich als „geschätzt“ bezeichnet.

Ein erstes Berechnungsverfahren (Cell Speed Model) nutzte einen sehr einfachen Ansatz. Die an einem stationären Messquerschnitt mittels einer Induktivschleife erhobene punktuelle Geschwindigkeit wurde als repräsentativ für den folgenden Abschnitt bis zum nächsten Messquerschnitt angesehen. Die Reisezeit für eine bestimmte Route berechnet sich dann als Summe der Fahrtzeiten auf den einzelnen Messabschnitten.

Diese Vorgehensweise zeigte insbesondere zu Verkehrsspitzenzeiten Schwächen. Das war der Anlass für die Entwicklung eines „Recursive Cell Processing“-Algorithmus, der auf der makroskopischen Verkehrsflusstheorie und einer deterministischen Fahrzeugfolgetheorie (deterministic queuing theory) basiert. In das Modell fließen über Schleifen gewonnene Verkehrskenngrößen ( $v$  und  $q$ ) ein, wobei in Melbourne der Schleifenabstand mit maximal 500 m sehr kurz ist. Der Zu- und Abfluss an Anschlussstellen wird im Modell berücksichtigt.

Durchgeführte Kontrollmessungen (über Kennzeichenerfassung) ergaben für einen 15 km langen Streckenabschnitt eine mittlere minütliche Abweichung der berechneten von der gemessenen Fahrtzeit von 1,1 Minuten [40].

## 2.2.4 Reisezeitinformationen in Europa

### Überblick

Die EU fördert innerhalb verschiedener Projekte (z. B. ARTS, SERTI, VIKING, CENTRICO) u. a. Vorhaben, die sich mit Reisezeitermittlung und -vorhersage beschäftigen. Die überwiegende Mehrzahl der in diesem Rahmen durchgeführten bzw. noch laufenden Projekte nutzt Verkehrskenngrößen zur Berechnung der Reisezeit. Es werden aber auch Verfahren getestet, in denen die Reisezeit gemessen wird (siehe Kapitel 2.3).

Viele Projekte sind in Ballungsgebieten angesiedelt, z. B. Barcelona, Paris, Kopenhagen, und betreffen die Haupteinfallstraßen. Reisezeiten werden aber auch für Autobahnen außerhalb von Ballungsräumen ermittelt. Insbesondere die französischen Autobahngesellschaften sind auf diesem Gebiet sehr aktiv.

Nachfolgend werden einige Projekte kurz vorgestellt. Die Informationen stützen sich im Wesentlichen auf Vorträge im Rahmen eines europäischen Workshops [45]. Soweit neuere Informationen verfügbar waren, sind diese eingeflossen.

### Beispiel Valencia

Reisezeitinformationen werden auf einer 16 km langen Hauptroute zwischen der A 7 und dem Hafen über fünf frei programmierbare Informationstafeln gegeben (siehe Bild 2.2). Die Hauptroute ist über mehrere Ein- und Ausfahrten mit dem nachgeordneten Netz verbunden. Die Datenerfassung erfolgt mittels Schleifen, die Verkehrsstärken und Ge-



Bildquelle:  
<http://www.valencia.es/ayuntamiento2/ndprincipal.nsf/>

**Bild 2.2:** Reisezeitanzeige in Valencia

schwindigkeiten im 1-Minutenintervall erfassen. Ergänzend werden Kameras und Wetterstationen eingesetzt.

Der Streckenzug ist in gleichartige Abschnitte unterteilt. Ein Abschnitt enthält mindestens einen Messquerschnitt, an dem die lokale Geschwindigkeit erfasst wird. Die Reisegeschwindigkeit auf einem Abschnitt errechnet sich in einem ersten Schritt als mittlere Geschwindigkeit aller Messquerschnitte in diesem Abschnitt. In einem zweiten Schritt erfolgt ein Abgleich der Geschwindigkeit am Übergang zum nächsten Abschnitt mit dessen mittlerer Geschwindigkeit, um zu große Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen zwei aufeinander folgenden Abschnitten zu verhindern. Die Fahrtzeit auf einem Abschnitt ergibt sich dann als Division der Streckenlänge durch die zugehörige, abgeglichene Geschwindigkeit. Die Gesamtreisezeit ergibt sich als Summenbildung der Fahrtzeiten auf allen Streckenabschnitten. Das System wird in regelmäßigen Abständen kalibriert, u. a. auch mit Floating Car Data.

Zwischenzeitlich wird die Verkehrslage auf den Hauptstraßen im gesamten Innenstadtbereich von Valencia erfasst und im Internet in einer dreistufigen Skala (flüssig, dicht und gestaut) angezeigt. Neben weiteren Informationen auf dieser Seite werden auch historische Verkehrsstärken angeboten ([www.valencia.es/ayuntamiento2/ndprincipal.nsf/frt\\_raficoc?openframeset](http://www.valencia.es/ayuntamiento2/ndprincipal.nsf/frt_raficoc?openframeset)).

### Beispiel Barcelona

Von Osten her auf der A 19 kommend, bieten sich zwei Korridore an, um das Zentrum von Barcelona



Bild 2.3: Reisezeitanzeige in Barcelona

zu erreichen. Die Verkehrsdaten werden mit Schleifen, die zwischen 750 m und 2.000 m auseinander liegen, erfasst. Es werden Verkehrsstärken und Geschwindigkeiten erhoben. Zur Berechnung der Reisezeit werden die Messdaten zunächst auf Plausibilität geprüft, geglättet (Mittelwert eines 5-Minutenintervalls) und in Abhängigkeit der Messquerschnitte gewichtet. Die Fahrtzeit auf einem Streckenabschnitt berechnet sich aus der Division der Streckenlänge und der zugehörigen gewichteten Geschwindigkeit. Die Reisezeit für den Gesamtabschnitt ergibt sich dann als Summe der Einzelabschnitte. Auf den frei programmierbaren Informationstafeln werden immer die Zeiten für beide Routen angezeigt (siehe Bild 2.3). Empfehlungen für eine Route werden nicht gegeben. Die frei programmierbaren Informationstafeln werden auch für die Anzeige anderer Informationen (z. B. Baustelle, Unfall) eingesetzt. Diese Anzeigen können auch mit Reisezeitinformationen kombiniert werden.

In Abhängigkeit der Größe des Zeitvorteils wechseln bis zu 50 % der Fahrer auf die zeitgünstigere Alternativroute. Minimal sind es immer noch 20 %.

Reisezeitinformationen über frei programmierbare Informationstafeln werden mittlerweile auch auf anderen Autobahnen im Großraum Barcelona gegeben (<http://www.gencat.net/transit>).

#### Beispiel Kopenhagen

1997 wurde im Großraum Kopenhagen, um das zunehmende Verkehrsaufkommen besser abwickeln zu können, das internetbasierte Informationssystem TRIM (Traffic Informatics on Motorways, [www.vk.de/trim](http://www.vk.de/trim)) eingeführt. Es umfasste damals



Bild 2.4: Reisezeitanzeige in Kopenhagen

rund 110 km Autobahnen. Die Verkehrskennwerte werden überwiegend mittels Induktivschleifen erhoben, deren mittlerer Abstand bei etwa 1,5 km liegt. Sie sind häufig in der Nähe von Ein- und Ausfahrten platziert. Es kommen auch Radardetektoren zum Einsatz. Eingangsgrößen für die Berechnung sind die üblichen Verkehrskenngrößen Verkehrsstärken und Geschwindigkeiten, jeweils differenziert nach Pkw und Lkw. Die Informationen werden zu Verkehrslageberichten aufbereitet und im Internet über drei Verkehrszustandsstufen:

- normaler Verkehr ( $V > 80$  km/h),
- dichter Verkehr ( $40 < V < 80$  km/h) und
- gestauter Verkehr ( $V < 40$  km/h)

dargestellt. Die Aktualisierung der Daten erfolgt minütlich. Die Informationen wurden zusätzlich auch über Verkehrsmeldungen lokaler Radiostationen und im Fernsehen verbreitet.

Mittlerweile wurden die Datenerfassung und die Informationsausgabe auch auf weitere dänische Städte und Regionen ausgedehnt. Für die in Kopenhagen in Nord-Süd-Richtung verlaufende Hauptachse M 3 werden auf dem etwa 16 km langen Abschnitt zwischen der M 21 und der M 201 die Fahrtzeiten zwischen den einzelnen Anschlussstellen angegeben. Reisezeitinformationen für die M 3 werden auch über zweizeilige VMS und statische Schilder mit frei programmierbarem Textfeld für die Fahrtzeitinformation (vergl. Bild 2.4) unmittelbar an den Verkehrsteilnehmer auf der Straße übertragen.

Für die rund 100 km langen Autobahnen E 20 und E 45 in der Region Kolding – Vejle – Odense können sich Internet-Nutzer die aktuellen Fahrtzeiten für frei wählbare Streckenabschnitte berechnen lassen.

Bei einem Vergleich von berechneten Fahrtzeiten und FCD-Fahrtzeiten stellte sich heraus, dass die

berechneten Fahrtzeiten höher lagen als die gemessenen FCD-Fahrtzeiten. Eine mögliche Ursache hierfür wird darin vermutet, dass die in die Berechnungen eingeschlossene, lokal gemessene Geschwindigkeit im Vergleich zur mittleren Geschwindigkeit auf dem Streckenabschnitt zu hoch ist. Ob und in welchem Umfang die Berechnungsverfahren mittlerweile entsprechend angepasst worden sind, ist nicht bekannt.

#### Beispiel Autobahnen in Frankreich

Fahrtzeiten werden auf französischen Autobahnen seit etwa 1996 ermittelt. Dazu haben u. a. die beiden großen Autobahngesellschaften Autoroutes du Sud de la France (ASF) und Société des Autoroutes Paris-Rhin-Rhône (SAPRR) im Rahmen des Forschungsvorhabens SERTI differenzierte Verfahren entwickelt. Mittlerweile stehen Angaben zur aktuellen Verkehrslage, Baustellen, Unfällen, Streckensperrungen u. Ä. für alle bemauteeten Autobahnstrecken im Internet zur Verfügung (z. B. [www.asf.fr](http://www.asf.fr)). Die Verkehrslage wird in den drei Stufen

- flüchtig,
- dicht und
- gesättigt

angegeben. Auf Streckensperrungen wird gesondert hingewiesen. Vorhersagen über den erwarteten Verkehrszustand sind für acht Monate im Voraus möglich. Die Vorhersagen gelten jeweils immer für eine volle Zeitstunde.

Darüber hinaus werden Reisezeitinformationen insbesondere bei Fahrtzeitverlängerungen, über die in Frankreich weit verbreiteten, frei programmierbaren Anzeigesysteme verbreitet. Fahrtzeitangaben erfolgen auch im Zusammenhang mit Umleitungsempfehlungen.

Die Entwicklung entsprechender Algorithmen zur Berechnung von Fahrtzeiten auf Autobahnen musste die vergleichsweise großen Abstände zwischen den einzelnen Messquerschnitten (ca. 5 km) berücksichtigen. An den Messquerschnitten werden die üblichen Verkehrskenngrößen (vgl. Kapitel 2.2.1) erhoben. Die einfache Verwendung einer lokal gemessenen Geschwindigkeit als repräsentative Geschwindigkeit für den gesamten Streckenabschnitt stellte sich bei Kontrollmessungen als nicht zuverlässig genug heraus.

Die Fahrtzeitermittlung beim Verfahren der ASF erfolgt in zwei Schritten. Zunächst wird wegen der großen Messquerschnittsabstände der reale Streckenabschnitt in ca. 1 km lange Unterabschnitte unterteilt. Für jeden Unterabschnitt werden, unter Verwendung der Daten des nächstgelegenen stromaufwärtigen und -abwärtigen Messquerschnitts, die zugehörigen Geschwindigkeiten unter Verwendung einer linearen Interpolation bestimmt. Die hierfür verwendeten Eingangsdaten basieren auf zwei aufeinander folgenden Zeitintervallen mit jeweils sechs Minuten Länge und spiegeln damit das zurückliegende Verkehrsgeschehen der letzten zwölf Minuten wider. Im zweiten Schritt wird die Fahrtzeit auf dem Streckenabschnitt über eine multiple, lineare Regression ermittelt, in die die zuvor berechneten Geschwindigkeiten der Unterabschnitte, der mittlere Verkehrsfluss, die mittlere Geschwindigkeit und die mittlere Belegung des Abschnitts einfließen.

Das von der SAPRR entwickelte Verfahren zur Fahrtzeitermittlung ist in einem Verkehrsmanagementsystem eingebunden und umfasst zwei unterschiedliche Berechnungsmethoden, die „Stock Method“ und die „Speed Method“. Die „Stock Method“ wird bei längeren Messquerschnittsabständen (> 5 km) eingesetzt und stützt sich u. a. auf im Verkehrsmanagementsystem gespeicherte historischen Daten. Voraussetzungen für die Anwendung der Methode sind ferner, dass der Stau zwischen den Messquerschnitten auftritt und der Verkehrsfluss an den angrenzenden Messquerschnitten bekannt ist. Die „Speed Method“ wird bei kürzeren Messquerschnittsabständen angewendet und bedingt, dass die Verkehrsstörung sich direkt in den erhobenen Messquerschnittsdaten widerspiegelt.

Über die Genauigkeit der berechneten Fahrtzeiten auf den französischen Autobahnen liegen keine näheren Angaben vor. Die Verfahren wurde in den vergangenen Jahren kontinuierlich weiterentwickelt.

#### Beispiel Niederlande

In den Niederlanden werden Reisezeitinformationen als ein Lösungsansatz für die Reduzierung von Verkehrsstörungen angesehen. Die Reisezeitberechnungen sind deshalb in ein komplexes Verkehrsmanagementsystem eingebettet. Die Eingangsdaten für die Reisezeitberechnungen werden über Induktivschleifen gewonnen, die u. a. Fahr-

zeugtyp und -anzahl sowie die Geschwindigkeiten erfassen.

Die Daten werden minütlich an die Verkehrszentrale übertragen. Die Messquerschnittsabstände auf den Autobahnen liegen zwischen 0,5 km und 4 km, im Mittel betragen sie etwa 1 km. Die Messstellen-dichte in den Niederlanden ist damit sehr hoch.

Bevor die Fahrtzeiten im „Monibas-System“ (MONI-toring BASis applicaties) [51], einem Modul des niederländischen Verkehrsmanagementsystems, berechnet werden, durchlaufen sie umfangreiche Plausibilitätsprüfungen. Neben der Fahrtzeit wird, wenn vorhanden, die Staulänge berechnet. Aufgrund der sehr geringen Messstellenabstände wird ein einfacher Ansatz zur Fahrtzeitberechnung verwendet. Die Fahrtzeit zwischen zwei Messquerschnitten ergibt sich wie folgt:

$$T_{\text{Fahrtzeit}} = \frac{1}{2} \left[ \frac{L_{\text{Messstrecke}}}{V_{\text{MQ1}}} \right] + \frac{1}{2} \left[ \frac{L_{\text{Messstrecke}}}{V_{\text{MQ2}}} \right]$$

Die so berechnete Fahrtzeit wird weiteren Plausibilitätskontrollen unterzogen, bevor sie für weitere Anwendungen freigegeben wird.

Eine direkte Anzeige der berechneten Fahrtzeiten an Autobahnen erfolgt nicht. Im Internet können für die einzelnen Autobahnen die aktuelle Verkehrslage und die in 5, 15 oder 30 Minuten erwartete Verkehrslage als Pre-Trip-Information abgerufen werden (www.vid.nl). Dabei werden drei Verkehrslagestufen dargestellt, die immer von Anschlussstelle zu Anschlussstelle gelten:

- keine Fahrtzeitverlängerung,
- Fahrtzeitverlängerungen von 2 bis 10 Minuten und
- Fahrtzeitverlängerungen über 10 Minuten.

Darüber hinaus werden in den Niederlanden auch Fahrtzeitmessungen über längere Streckenabschnitte mittels Kennzeichenerfassung und -wiedererkennung per Video durchgeführt. Die Fahrtzeit ergibt sich direkt aus dem Zeitunterschied beim Überfahren der Messquerschnitte. Diese Messungen werden von der Polizei durchgeführt und dienen der Überwachung der Einhaltung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Nähere Einzelheiten hierzu sind nicht bekannt.

## 2.2.5 Deutsche Projekte

### Einleitung

Deutsche Projekte, in denen Reise- und/oder Verlustzeiten ermittelt und diese der Allgemeinheit zugänglich gemacht wurden/werden, waren bis vor wenigen Jahren relativ selten. Vorreiter waren hier private Telematikdienstleister, die beispielsweise Verlustzeiten infolge von Verkehrsstörungen berechneten und diese über gebührenpflichtige Telefonnummern allgemein zur Verfügung stellten. Ein Beispiel hierfür ist der mittlerweile eingestellte PASSO-Verkehrsdienst, der seine Informationen vom Unternehmen ddg, Gesellschaft für Verkehrsdaten mbH, bezog. Die ddg als Telematikdienstleister entwickelt ihr Verfahren<sup>2</sup> kontinuierlich weiter. Reisezeiten werden mit Hilfe eines komplexen Verkehrsmodells ermittelt.

Mittlerweile werden auch von Straßenbauverwaltungen bzw. in deren Auftrag Reise- bzw. Verlustzeiten ermittelt und öffentlich bekannt gegeben. Hier sind das im Auftrag der Straßenbauverwaltung Nordrhein-Westfalen seit 1999 von der Universität Duisburg entwickelte Simulationsmodell OLSIM [5] und das von der Straßenbauverwaltung Hessen eingesetzte Störfallerkennungsprogramm ASDA/FOTO [33] zu nennen.

Die drei genannten sowie weitere Verfahren werden nachfolgend näher erläutert.

## 2.2.6 Verfahren OLSIM

### Einleitung

Das Verfahren OLSIM (Online Simulation) stützt sich auf eine Verkehrsflusssimulation mit der der Verkehrsfluss auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen nachgebildet und beurteilt wird. Die grundlegende Modellentwicklung begann Anfang der 90er Jahre. Seit 1999 entwickelt die Universität Duisburg-Essen das Modell im Auftrag der Straßenbauverwaltung NRW kontinuierlich weiter. Es wurde im März 2003 erfolgreich in Betrieb genommen. Ein bundesweiter Einsatz von OLSIM ist derzeit nicht absehbar.

Die Verkehrsqualität auf den einzelnen Netzabschnitten wird mittels der vier Klassen

<sup>2</sup> Der Einfachheit halber wird im Rahmen dieses Forschungsvorhabens die Bezeichnung „Verfahren ddg“ verwendet.

- frei,
- dicht,
- zähfließend und
- gestaut

beschrieben. Zusätzlich werden für ausgewählte Quell-/Zielpunkte, für die es alternative Routen gibt, die Fahrtzeiten ermittelt.

Das Simulationsmodell spiegelt die derzeitige Verkehrssituation wider und bietet darüber hinaus sowohl für die Verkehrslage als auch für die Fahrtzeiten zwei Kurzzeitprognosen (1/2 Stunde und 1 Stunde) an.

Die Verkehrslage wird im Internet unter „www.auto.bahn.nrw.de“ netzbezogen dargestellt. Die Reisezeiten werden tabellarisch ausgegeben. Die Informationen sind für jedermann frei zugänglich.

#### Eingangsdaten

Das Simulationsmodell speist sich aus zwei großen Datenquellen. Zum einen werden aktuelle Verkehrsdaten (fahrstreifenbezogene Geschwindigkeiten und Verkehrsstärken) aus rund 4.000 Messquerschnitten von den beiden Verkehrsrechnerzentralen in Nordrhein-Westfalen (Leverkusen und Recklinghausen) kontinuierlich übernommen und direkt in das System eingespeist. Diese Daten werden ergänzt um aktuelle RDS/TMC-Meldungen. Informationen zu Tagesbaustellen werden täglich, zu Langzeitbaustellen in einem zweiwöchentlichen Rhythmus, aktualisiert und auf der Internetseite netzbezogen dargestellt. Diese Informationen haben zurzeit „nur“ informativen Charakter und fließen (noch) nicht in das Simulationsmodell ein.

Die zweite wesentliche Datenquelle bilden historische Ganglinien, die aus den aktuellen Daten permanent gebildet und fortgeschrieben werden. Diese Ganglinien liegen in einer sehr differenzierten Aufteilung vor (z. B. tageweise, werktäglich, Urlaubsreisezeit, fahrstreifenbezogen, bei Verkehrsstörungen) und werden zum Abgleich der Berechnungen herangezogen. Ebenfalls gespeichert werden die Fahrtrichtungsverteilungen an den Knotenpunkten und an den Anschlussstellen.

#### Verfahren

Das Simulationsmodell arbeitet nach dem Prinzip eines Zellularautomaten. Ein Zellularautomat zeichnet sich durch feste und gleiche Regeln (Regelsatz

Update-Regeln) für alle Fahrzeuge aus. Dadurch wird es möglich, große Netze mit vielen Fahrzeugen in Echtzeit zu simulieren. Die wichtigsten Regeln/Eigenschaften sind:

- Jedes Fahrzeug strebt an, mit seiner Höchstgeschwindigkeit (Pkw ca. 130 km/h, Lkw 80 km/h) zu fahren,
- wenn der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug zu klein wird, dann wird die Geschwindigkeit entsprechend reduziert (Kollisionsfreiheit),
- die Fahrzeuge bewegen sich mit der errechneten Geschwindigkeit vorwärts,
- die Geschwindigkeit fahrender Autos wird mittels eines „Trödefaktors“ reduziert, um
  - ein Nicht-Ausnutzen der maximalen Beschleunigung,
  - die Fluktuation im oberen Geschwindigkeitsbereich sowie
  - ein Überreagieren beim Bremsen („Staus aus dem Nichts“) mit einzubeziehen,
- es werden unterschiedliche Fahrmanöver berücksichtigt, Bremsen, Beschleunigen, Spurwechselvorgänge (Einfahren),
- die Zellgröße beträgt 1,5 m, d. h., ein Fahrzeug belegt immer mehrere Zellen,
- die Beschleunigung beträgt  $1,5 \text{ m/s}^2$ ,
- der Sicherheitsabstand beträgt mindestens 7 Zellen = 10,50 m und die Zeitschrittweite ist 1 sec.

Bei Spurwechselvorgängen muss auf dem Überholfahrstreifen eine höhere Geschwindigkeit als auf dem eigenen Fahrstreifen möglich sein. Die Lücke auf dem Überholfahrstreifen muss ferner so groß sein, dass ein dort befindliches Fahrzeug noch so beschleunigen kann, wie es das ohnehin getan hätte. Lkw-Überholen wird im Modell nicht simuliert.

Das Fahrverhalten eines vorausfahrenden Fahrzeugs im nächsten Zeitschritt wird mit einbezogen (Antizipation). Der „Blick im Voraus“ ist allerdings auf sechs Sekunden begrenzt.

Das Simulationsmodell OLSIM unterscheidet sich von anderen Simulationsverfahren deutlich. Ein gravierender Unterschied liegt beispielsweise darin, dass die im System bewegten Fahrzeuge

keine direkte Quelle und kein direktes Ziel haben. Die Fahrtrichtungsverteilungen an Anschlussstellen und an Knotenpunkten (Aus-, Ein- und Durchfahrer) erfolgen zunächst auf Basis der historischen Ganglinien. In einem zweiten Schritt werden dann die jeweiligen Verkehrsstärken mit den aktuellen Werten der entsprechenden Messstationen verglichen.

Bei Überschreitung von definierten Toleranzgrenzen werden die Vorgaben der historischen Ganglinien entsprechend modifiziert, um ein möglichst realitätsnahes Simulationsergebnis zu erhalten.

Ein weiterer wesentlicher Unterschied liegt darin, dass die Simulation fortlaufend anhand der kontinuierlich eingehenden Messwerte der Streckenstationen überprüft und daran neu ausgerichtet wird. Dies kann dazu führen, dass beispielsweise Fahrzeuge auf Abschnitten mit einer unzureichenden Übereinstimmung aus der laufenden Simulation herausgenommen oder zusätzlich eingeführt werden.

Die Verkehrslage und die Fahrtzeiten werden minütlich neu errechnet und im Internet dargestellt. Die Berechnung der Pkw-Fahrtzeiten erfolgt in zwei Schritten. Im ersten werden die momentanen Geschwindigkeiten aller auf einem definierten Abschnitt befindlichen Pkw, d. h. die Geschwindigkeiten im Sekundenschritt, gemittelt. Die mittleren sekundlichen Geschwindigkeitswerte werden anschließend exponentiell geglättet und zu Minutenwerten aggregiert. Die Fahrtzeit auf einem Abschnitt ergibt sich aus der Division Streckenlänge durch mittlere Geschwindigkeit.

Einschätzung des Verfahrens im Hinblick auf die Bereitstellung von Fahrtzeiten für dWiSta

Die mit dem Simulationsmodell OLSIM ermittelten Verkehrslagen und Fahrtzeiten, so eine mittels Messfahrten durchgeführte Überprüfung [5], geben im Allgemeinen die realen Bedingungen gut wieder, wobei die Fahrtzeiten in Störsituationen eher über- als unterschätzt werden. Die Überprüfung attestiert dem Modell, insbesondere bei einem freien Verkehrsfluss, gute Ergebnisse.

Auf Basis der Literatur- und Datenrecherche wird das Verfahren OLSIM als geeignet eingestuft, um Fahrtzeiten zu berechnen, die die Grundlage der Reisezeitinformation in den dWiSta sein können.

Es ist ferner im Einzelfall zu prüfen, ob die im Simulationsmodell OLSIM mit Fahrtzeiten versorgten

Fahrtbeziehungen den Anforderungen an konkrete dWiSta-Standorte genügen. Die Aufnahme zusätzlicher Fahrtbeziehungen ist einfach realisierbar.

### 2.2.7 Verfahren ddg

#### Einleitung

Die ddg beschäftigt sich seit Jahren mit der Erfassung und Aufbereitung von Verkehrsdaten zu Zwecken der Erstellung von Verkehrszustandsberichten. Sie ist privatwirtschaftlich organisiert und arbeitet u. a. für Automobilhersteller, für Hersteller von Navigationsgeräten und für öffentliche Stellen. Im Rahmen der Datenaufbereitung werden u. a. Geschwindigkeiten und Fahrtzeiten ermittelt. Die Verkehrszustandsberichte werden, unter Verwendung eines komplexen, mehrschichtigen Verkehrsmodells, praktisch in Realzeit berechnet und decken das gesamte bundesdeutsche Autobahnnetz ab.

Die Ergebnisse werden in Verkehrsdatenbanken gespeichert, auf die die Kunden dann zugreifen können. Die von der ddg errechneten Verkehrsdaten werden darüber hinaus auch von Navigationsgeräten verwendet, um bei Verkehrsstörungen eine Alternativroute zu berechnen.

#### Eingangsdaten

Das Verfahren ddg stützt sich auf Verkehrskenngrößen aus drei unterschiedlichen Datenquellen sowie auf verbale Verkehrsmeldungen und Informationen:

- Stationäres Erfassungs-System (SES) – fest montierte Sensoren an der Autobahn zur Messung des Verkehrsflusses,
- Verkehrskenngrößen der Verkehrsinformations- bzw. der Verkehrsrechnerzentralen (VRZ) der Bundesländer,
- Floating Car Data (FCD) Telematikendgeräte in Fahrzeugen liefern als mobile Sensoren aktuelle Daten zum Verkehrsgeschehen,
- Verkehrsmeldungen der Nationalen Meldestelle
- Baustelleninformationen vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS),
- Informationen zu Geschwindigkeitsbeschränkungen und Richtgeschwindigkeiten auf Autobahnen.

### Stationäres Erfassungs-System (SES)

Das Stationäre Erfassungs-System wurde von der ddg selbst aufgebaut und umfasst bundesweit derzeit rund 4.000 feste Sensoren. Sie erfassen mittels Infrarottechnik den Verkehrsfluss (Menge) und die mittlere Geschwindigkeit und unterscheiden zwischen Pkw und Lkw.

Die SES-Sensoren sind in der Regel an Brücken installiert und erfassen nur den linken Fahrstreifen. Die Verkehrsparameter des rechten Fahrstreifens bei zweistreifigen Autobahnen bzw. des mittleren und des rechten Fahrstreifens bei dreistreifigen Autobahnen werden anhand bekannter Vergleichskurven, unter Zugrundelegung der erfassten Sensordaten, abgeleitet.

Die Datenübertragung vom SES-Sensor erfolgt über den Mobilfunkstandard GSM (Global System for Mobile Communications). Dabei gilt die Besonderheit, dass die Daten nicht regelmäßig, z. B. in festen Zeitintervallen, sondern ereignisbezogen, d. h. bei wesentlichen Änderungen der Verkehrslage (starker Einbruch der Geschwindigkeit oder des Verkehrsflusses) übertragen werden. Die Ereignisse und damit die Anzahl der Meldungen können frei definiert werden. Die ereignisbezogene Datenübertragung dient vor allem der Kosteneinsparung.

Jeder Meldung wird eine Historie zugefügt, sodass rückblickend auch Informationen zu vergangenen Verkehrszuständen vorliegen.

### Verkehrskenngrößen der VRZ

Als weitere wesentliche Datenquelle nutzt die ddg aktuelle Verkehrsdaten der Verkehrsrechnerzentralen. Dabei handelt es sich um einen kontinuierlichen Datenstrom, der überwiegend mittels in der Fahrbahn eingelassener Induktivschleifen ermittelt wird. Die ddg stützt sich bundesweit auf etwa 5.500 fahrtrichtungsbezogene Messquerschnitte<sup>3</sup>. Die auf 1-Minutenintervalle aggregierten Daten umfassen folgende fahrstreifenbezogene Größen:

- $v_{PKW}$  und  $v_{LKW}$ ,
- $q_{PKW}$  und  $q_{LKW}$ ,
- Zeitlücken,
- Belegung.

<sup>3</sup> Ein Messquerschnitt umfasst die Schleifen der zugehörigen Fahrstreifen und gegebenenfalls auch zugehörige Schleifen von Aus- und Einfahrten.

### Floating Car Data (FCD)

Floating Car Data liefern aktuelle, ortsbezogene Geschwindigkeitsverläufe, Fahrtzeiten sowie weitere Daten. FCD liefern ein sehr genaues Bild der Verkehrssituation, dieses gilt aber nur für das sendende Fahrzeug. Eine Verallgemeinerung der Verkehrslage setzt eine hohe Anzahl entsprechend ausgestatteter Fahrzeuge voraus.

Die ddg, als größte bundesweite Zentrale für die Aufnahme von Floating Car Data, konnte im Jahr 2004 auf einen Pool von rund 40.000 Fahrzeugen zurückgreifen. Die genaue Anzahl entsprechend ausgestatteter Fahrzeuge wächst weiter. Die ddg schätzt, dass mittlerweile (Stand 2007) bereits 50.000 Fahrzeuge als FCD fungieren können. Die genaue Anzahl ist jedoch nicht bekannt, da die Fahrzeuge nicht zentral erfasst sind und anonym senden.

Will man verlässliche Aussagen erhalten, wird eine vergleichsweise große Zahl entsprechend ausgestatteter Fahrzeuge benötigt. Sollte die gesamte Verkehrsdatenerfassung auf deutschen Autobahnen auf FCD basieren, schätzt die ddg, dass rund 100.000 Fahrzeuge entsprechend ausgestattet sein müssten. Die ddg erwartet, dass dann etwa 95 % der Verkehrsstörungen innerhalb von zehn Minuten erkannt werden können. Für eine flächenhafte Abdeckung des übrigen und wesentlich längeren Fernstraßennetzes nimmt die ddg an, dass etwa viermal mehr FCD-Fahrzeuge benötigt werden [22].

Die im Einsatz befindlichen Fahrzeuge mit FCD reichen aber für eine umfassende Beschreibung der Verkehrssituation noch nicht aus. FCD werden von der ddg deshalb und aus Kostengründen derzeit nur „gedämpft“ genutzt. Sie werden vor allem eingesetzt, um die übrigen Daten auf Plausibilität zu prüfen und zu verfeinern. Nach Aussagen der ddg sendet jedes Fahrzeug im Mittel weniger als ein Telegramm pro Tag. Die Anzahl der verarbeiteten FCD-Meldungen entspricht deshalb einer effektiven Anzahl von rund 10.000 Fahrzeugen.

Weitere Ausführungen zu FCD enthält das Kapitel 2.3.2.

### Verkehrsmeldungen der Nationalen Meldestelle (TIC NMS)

Die Nationale Meldestelle ist beim Innenministerium des Landes Nordrhein-Westfalen angesiedelt, sammelt alle Meldungen über Verkehrsstörungen

auf Bundesautobahnen und leitet diese an die Landesmeldestellen weiter. Die bereitgestellten Verkehrsmeldungen beschreiben die Verkehrslage meist qualitativ, z. B. durch die Angabe einer Staulänge oder Beschreibung des Verkehrsflusses (z. B. stockend). Numerische Verkehrskenngrößen, entsprechend den von den VRZ bereitgestellten, sind über die NMS nicht verfügbar.

Diese Daten fließen nicht direkt in die Verkehrsmodellrechnung ein, sondern werden als Defaultgrößen herangezogen, wenn die Verkehrsmodellrechnung für die entsprechenden Abschnitte keine oder nicht plausible Daten ergibt. Dies kann z. B. dann der Fall sein, wenn der Abstand zwischen zwei Messstellen infolge eines Sensorausfalls zu groß ist, um gesicherte Fahrtzeiten beziehungsweise Geschwindigkeiten berechnen zu können.

#### Weitere Quellen

Neben den aktuellen Verkehrsdaten werden darüber hinaus weitere Daten bei der Berechnung der Verkehrslage berücksichtigt. Dies sind beispielsweise Informationen zum Autobahnnetz selbst, wie die zulässige Höchstgeschwindigkeit, Richtgeschwindigkeiten, Baustelleninformationen. Baustelleninformationen sind auch deshalb von Bedeutung, da bei verschwenkten Fahrbahnen die SES unter Umständen einen „falschen“ Verkehrsstrom beobachtet, der eine unzutreffende Verkehrssituation widerspiegelt. Vergleichbares gilt auch für Induktivschleifen.

Ebenfalls gesondert berücksichtigt werden Zeiten mit einem überdurchschnittlich hohen Verkehrsaufkommen, z. B. publikumsintensiver Veranstaltungsverkehr. Diesbezüglich kann die ddg auf eine umfangreiche Sammlung historischer Daten zurückgreifen.

#### Verfahren

Alle eingehenden Daten werden zunächst einer Plausibilitätskontrolle unterzogen. Nicht plausible Daten können durch historische Daten ersetzt werden oder sie werden als fehlerhaft ausgesondert. In einem zweiten Schritt besteht die Notwendigkeit, die unterschiedlichen Datenstrukturen von SES, FCD (beide ereignisorientiert und damit zeitlich variabel) und Daten aus den Verkehrsrechnerzentralen (kontinuierlicher Datenfluss) so aufzubereiten, dass sie im Verkehrsmodell weiterverarbeitet werden können.

Die Gewichtung der Datenquellen ist unterschiedlich. Sind beispielsweise viele Schleifendaten vorhanden, liegt die Dominanz bei diesen Daten, ansonsten eher bei den SES. Die FCD haben bei der Verkehrsmodellrechnung weniger Bedeutung, allein schon deshalb, weil deren Datendichte deutlich geringer ist als bei den vorgenannten Quellen.

Das Autobahnnetz ist fahrstreifenscharf, einschließlich aller Knotenpunkte und Anschlussstellen, abgebildet und in Abschnitte von 200 m Länge unterteilt.

Zur Ermittlung der Fahrtzeiten wird ein mehrstufiges Verfahren angewendet. Die Berechnungen werden im Minutenraster durchgeführt. Zunächst werden aus den numerischen Daten (SES, VIZ und FCD) ein Geschwindigkeits- und Verkehrsdichtefeld ermittelt. Hierfür stehen mehrere Verfahren zur Verfügung, deren Anwendung situationsabhängig ist. Neben dem verkehrstechnischen Interpolationsverfahren von HELBING und TREIBER („Adaptive smoothing method“) werden auch makroskopische Verkehrsflussmodelle verwendet.

Das so ermittelte Geschwindigkeits- und Verkehrsdichtefeld kann, je nach Datengrundlage lückenhaft sein. In der zweiten Stufe wird deshalb geprüft, ob eventuell vorhandene Lücken durch Meldungen der nationalen Meldestellen gefüllt werden können. In Abhängigkeit des in der Meldung beschriebenen Verkehrszustands (dichter, stockender oder gestauter Verkehr) wird für die betroffenen Streckenabschnitte eine Geschwindigkeit zugewiesen.

Auch nach der zweiten Stufe ist noch nicht sichergestellt, dass allen Streckenabschnitten eine Geschwindigkeit zugewiesen werden konnte. Es wird deshalb in einer dritten Stufe geprüft, ob Strecken ohne Geschwindigkeitszuweisung in einem Baustellenbereich liegen. In einem solchen Fall wird ersatzweise eine Geschwindigkeit von 80 km/h angenommen.

Sollte auch nach der Stufe 3 ein Streckenabschnitt ohne Geschwindigkeitszuweisung vorhanden sein, wird überprüft, ob für diesen eine zulässige Richtgeschwindigkeit oder eine Höchstgeschwindigkeit vorliegt. Ansonsten wird mit einer Bezugsgeschwindigkeit von 120 km/h gerechnet.

Die resultierenden Fahrtzeiten ergeben sich dann als Division der Streckenlänge durch die nach obiger Vorgehensweise ermittelten Geschwindigkeit. Die Reisezeiten für längere Streckenabschnitte ergeben sich als Summe der Fahrtzeiten der zugehörigen Einzelabschnitte.

Das Verfahren ddg berücksichtigt verkehrsregelnde Maßnahmen nur bedingt, Überholverbote für Lastkraftwagen werden beispielsweise nicht direkt berücksichtigt. Ebenso bleiben topografische Einflüsse, z. B. Strecken mit hohen Längsneigungen, bei der Netzabbildung unberücksichtigt. Beide Faktoren beeinflussen die Pkw-Geschwindigkeit in durchaus nennenswertem Umfang. Sie spiegeln sich jedoch in den numerischen Verkehrsdaten unmittelbar wider, sodass sie bei der Netz- und Verkehrsflussmodellierung nicht gesondert berücksichtigt werden müssen. Darüber hinaus gilt, dass sich solche Einflussfaktoren vor allem bei einem freien Verkehrsfluss auswirken; bei einem gestörten Verkehrsfluss sind sie weniger von Bedeutung.

Neuralgische Punkte im Straßennetz, z. B. Abschnitte mit einer Fahrstreifenreduzierung, sind dem System aufgrund der fahrstreifenscharfen Netzabbildung bekannt. Eine entsprechende Beobachtung dieser Bereiche ermöglicht ein frühzeitiges Erkennen von Staubildungen und die Generierung zugehöriger Frühwarnungen. Speziell für solche Bereiche gibt es Algorithmen, um sich abzeichnende Verkehrsstörungen frühzeitig zu erkennen.

Einschätzung des Verfahrens im Hinblick auf die Bereitstellung von Fahrtzeiten für dWiSta

Das Verfahren ddg stützt sich auf ein komplexes Verkehrsmodell. Es wird seit mehreren Jahren angewendet und läuft stabil. Auf Basis bekannter Ganglinien können prognostische Aussagen zum Verkehrsgeschehen gemacht werden. An der Implementierung entsprechender Module wird derzeit gearbeitet. Zukünftig ist beabsichtigt, fahrstreifenbezogene Fahrtzeiten zu ermitteln, um die Aussagegenauigkeit zu verbessern.

Die Reisezeitberechnungen erfolgen flächendeckend für das Autobahnnetz in Deutschland.

Auf Basis der Literatur- und Datenrecherche wird das Verfahren ddg als geeignet eingestuft, um Fahrtzeiten zu berechnen, die die Grundlage der Reisezeitinformation in den dWiSta sein können.

### 2.2.8 Störfallerkennungsprogramm ASDA/FOTO

Einleitung

Das Störfallerkennungsprogramm ASDA/FOTO besteht aus den beiden Modulen:

ASDA **A**utomatische **S**tudynamikanalyse,

FOTO **F**orecasting **O**f **T**raffic **O**bjects.

Beide Module sind voneinander unabhängig und analysieren verschiedene Verkehrszustände.

Anders als bei den vorgenannten Verfahren werden im Verfahren ASDA/FOTO Verlustzeiten, das heißt Fahrtzeiten, die über einer Normfahrtzeit liegen, ermittelt. Auf Strecken mit einem ungestörten Verkehrsfluss erfolgt keine Berechnung. Hier werden die Fahrtzeiten anhand von Referenzgeschwindigkeiten ermittelt. Verlustzeiten werden dann berechnet, wenn an einem oder mehreren Messquerschnitten die dort ermittelten Verkehrskenngrößen definierte Schwellenwerte unterschreiten.

Das Verfahren ASDA/FOTO wurde wesentlich von KERNER und REHBORN entwickelt und ist 1998 als „Verfahren zur Verkehrszustandsüberwachung und Fahrzeugflusssteuerung in einem Straßennetz“ als Patent angemeldet worden [33].

Das Verfahren ASDA/FOTO wird heute von der Firma PTV kommerziell vertrieben. Es wird von der hessischen Straßenbauverwaltung auf der A 3 im Abschnitt zwischen dem Dreieck Mönchhof und dem Seligenstädter Dreieck sowie auf der A 5 im Abschnitt von der AS Friedberg bis zum Frankfurter Kreuz eingesetzt.

Die Verlustzeiten auf der A 3 und A 5 können im Internet unter [www.vz.hessen.de/reisezeit/reise.swf](http://www.vz.hessen.de/reisezeit/reise.swf) für die einzelnen Streckenabschnitte abgerufen werden und werden den Verkehrsteilnehmern ferner über frei programmierbare (nicht dWiSta-konforme) Informationstafeln an Autobahnknotenpunkten unmittelbar mitgeteilt.

Auch die beiden bayerischen Autobahndirektionen nutzen das System, um damit die aktuelle Verkehrslage in den drei Verkehrszustandsstufen flüssig, dicht und gestaut darstellen zu können. Die aktuelle Verkehrslage wird im Internet für alle frei zugänglich unter [www.bayerninfo.de](http://www.bayerninfo.de) dargestellt.

Eingangsdaten

Die Eingangsdaten sind für beide Module identisch und basieren auf üblichen Verkehrsdaten, die an den Messquerschnitten erhoben werden. Dabei handelt es sich um die nach Pkw und Lkw differenzierten und fahrstreifenbezogenen Verkehrsstärken und Geschwindigkeiten, die kontinuierlich bereitgestellt werden müssen. Diese Daten müssen um notwendige Infrastrukturinformationen, wie beispielsweise Fahrstreifenzahl, Abschnittslängen, Lage

von Ein- und Ausfahrten und Knotenpunkte, ergänzt werden.

#### Verfahren

Dem Verfahren liegt die Annahme zugrunde, dass sich der Verkehrsfluss durch drei charakteristische Phasen beschreiben lässt:

1. „Freier Verkehr“,
2. „Synchronisierter Verkehr“,
3. „Sich bewegende breite Staus“.

Freier Verkehr ist durch freie Überholmöglichkeiten und geringe oder keine gegenseitigen Beeinträchtigungen der Verkehrsteilnehmer gekennzeichnet.

Bei synchronisiertem Verkehr sind die Überholmöglichkeiten sehr eingeschränkt. Synchronisierter Verkehr entsteht häufig aus dem freien Verkehr an Engstellen oder an Zufahrten. Die stromabwärtige Front des synchronisierten Verkehrs ist ortsfest. Aus verkehrstechnischer Sicht existiert für diesen Zustand kein eindeutiges Fundamentaldiagramm mehr. Die Abflussstärke aus dem synchronisierten Verkehr ist abhängig von der Zuflussmenge.

Sich bewegende breite Staus sind dadurch gekennzeichnet, dass sich die beiden Staufronten gegen die Fahrtrichtung fortpflanzen. An der stromaufwärts gelegenen Staufont bremsen die Fahrzeuge stark ab, an der stromabwärts gelegenen müssen sie dagegen praktisch vom Stillstand aus beschleunigen. Anders als beim synchronisierten Verkehr ist die Abflussmenge unabhängig vom Zufluss. Die Größe des Zuflusses ist maßgebend für die Breite (Länge) des Staus.

Die Phasenübergänge zwischen den einzelnen Zuständen sind durch eine sprungartige Reduzierung der Geschwindigkeit und einen Hystereseeffekt gekennzeichnet.

Das Modul ASDA analysiert den Verkehrszustand „Sich bewegender breiter Stau“ und das Modul FOTO den Verkehrszustand „Synchronisierter Verkehr“.

Ein sich bewegender breiter Stau wird durch drei Parameter charakterisiert:

- die Geschwindigkeit der stromabwärtigen Front,
- die Abflussmenge und
- die Verkehrsdichte im Stau.

Die Geschwindigkeit der stromabwärtigen Front lässt sich aus der Zeitdifferenz des Staudurchgangs zweier benachbarter Detektoren berechnen oder mit Hilfe von FCD bestimmen. Die Abflussmenge wird über die stationäre Verkehrsdatenerfassung direkt gemessen. Mit diesen beiden Werten sowie einer angenommen maximalen fahrstreifenbezogenen Verkehrsdichte (abhängig vom Lkw-Anteil) können Aussagen zur Verkehrsdichte im Stau getroffen werden.

Im Ergebnis der Analyse stehen folgende Größen zur Verfügung:

- Position der stromabwärtigen und stromaufwärtigen Staufont,
- Staulänge,
- Geschwindigkeiten beider Staufonten,
- Kurzzeitprognose der Stauposition,
- Berechnung der Verlustzeit anhand von Referenzzeiten,
- Vorhersage der Fahrtzeit auf einem Streckenabschnitt sowie
- Vorhersage der Stauauflösung.

Das Verfahren FOTO identifiziert den Verkehrszustand anhand der Charakteristika der Phasenübergänge zwischen den drei Verkehrszuständen. Innerhalb des Verkehrszustandes „synchronisierter Verkehr“ werden weitere Unterzustände betrachtet, z. B. so genannte „pinch regions“, in den sich bewegende, enge Staus entstehen. Sie unterscheiden sich von breiten Staus dadurch, dass der Abfluss aus dem Stau vom Zufluss abhängt. Das Verfahren erkennt und analysiert die Verkehrszustände und schätzt die Entwicklung des synchronisierten Verkehrs ab. Dabei wird davon ausgegangen, dass die stromabwärtige Front des synchronisierten Verkehrs ortsfest ist und die stromaufwärtige Front vom Zufluss beeinflusst wird.

Im Zusammenspiel mit dem Verfahren ASDA stehen letztendlich die folgenden Verkehrskenngrößen zur Verfügung. Als verkehrliche Objekte werden die räumlich abgegrenzten Verkehrszustände

- Stau,
- Stop-and-Go-Verkehr und
- synchronisierter Verkehr

bezeichnet. Die räumliche Auflösung erfolgte ursprünglich in 100-m-Schritten. Mittlerweile ist auch

eine Abschnittsbildung auf Basis von NAVTEQ-Strecken oder TMC-Abschnitten möglich. Damit sind auch die Bereiche mit freiem Verkehr eindeutig definiert. Die Berechnung erfolgt minütlich. Die Geschwindigkeiten der verkehrlichen Objekte werden auf 1 km/h genau berechnet. Für Abschnitte mit einem vergleichbaren Verkehrszustand werden die einzelnen Geschwindigkeiten zu einer mittleren Geschwindigkeit zusammengefasst.

Bei einem stehenden Stau, z. B. infolge eines Unfalls, wird eine feste, frei wählbare Staugeschwindigkeit eingesetzt.

Einschätzung des Verfahrens im Hinblick auf die Bereitstellung von Fahrtzeiten für dWiSta

Nach den Erfahrungen der Straßenbauverwaltung Hessen stimmen die vom Verfahren ermittelten Verlustzeiten mit denen, die vor Ort beobachtet werden, gut überein. Das Verfahren lässt sich einfach in die vorhandene Verkehrsdatenerfassung integrieren. Erforderlich ist ein Anschluss an die Verkehrsrechnerzentrale(n), um die Messdaten kontinuierlich zu erhalten. Bei den weiteren Arbeiten handelt es sich im Wesentlichen um die Eingabe von Daten zur Beschreibung der Infrastruktur (z. B. Abschnittslängen, Fahrstreifenanzahl, Versorgung der Detektorstandorte und -bezeichnungen im Rechnerprogramm). Damit ist eine Einbeziehung neuer Streckenabschnitte leicht möglich.

Auf Basis der Literatur- und Datenrecherche wird das Verfahren ASDA/FOTO als geeignet eingestuft, um Fahrtzeiten zu berechnen, die die Grundlage der Reisezeitinformation in den dWiSta sein können.

### 2.2.9 Verfahren „EINFACHER ANSATZ“

Um zu prüfen, ob eventuell auch mit einem sehr einfachen Algorithmus, unter Verwendung der Datenbasis der vorhandenen stationären Messquerschnitte, Reisezeiten zuverlässig berechnet werden können, wird ein weiteres Verfahren, nachfolgend als Verfahren „EINFACHER ANSATZ“ bezeichnet, mit untersucht. In der Praxis wird kein vergleichbares Verfahren angewendet.

Die Grundidee des Verfahrens beruht darauf, dass bei einem ausreichend dichten Messstellennetz die an den stationären Messquerschnitten ermittelten, minütlichen Geschwindigkeiten direkt für die Reisezeitberechnung verwendet werden können. Die

lokal bestimmte Geschwindigkeit wird bis zum nächsten stationären Messquerschnitt als konstant angenommen. Damit entspricht das Verfahren vom Grundsatz her der niederländischen Vorgehensweise (siehe Kapitel 2.2.4).

Die Berechnung stützt sich auf die Pkw-Geschwindigkeiten, da nur sie für die Anzeige in den dWiSta von Interesse sind. Die an den stationären Messquerschnitten erhobenen Lkw-Geschwindigkeiten werden nicht berücksichtigt. Sie werden aber indirekt mit einbezogen, weil die erzielbare Pkw-Geschwindigkeit auch vom Fahrverhalten der Lkw-Fahrer mitbestimmt wird.

Die an einem Messquerschnitt erhobenen Geschwindigkeiten liegen fahstreifenscharf vor und müssen zunächst zu einer mittleren Geschwindigkeit zusammengefasst werden. Dies erfolgt, unter Beachtung der jeweiligen Pkw-Verkehrsstärken, durch Bildung des harmonischen Mittelwertes gemäß nachfolgender Formel:

mit:

$$V_{Pkw} = \frac{1}{\left[ \frac{1}{q_{Pkw\_ges}} \cdot \left( \frac{q_{Pkw\_1}}{v_{Pkw\_1}} + \frac{q_{Pkw\_2}}{v_{Pkw\_2}} + \frac{q_{Pkw\_n}}{v_{Pkw\_n}} \right) \right]}$$

$V_{Pkw}$  = mittlere Pkw-Geschwindigkeit auf dem Abschnitt [km/h]

$q_{Pkw\_i}$  = Anzahl Pkw auf Fahrstreifen i (i = 1 bis n, N = Anzahl der Fahrstreifen) [Pkw/min]

$v_{Pkw\_i}$  = Geschwindigkeit der Pkw auf Fahrstreifen i [km/h] i = 1 bis n, n = Anzahl der Fahrstreifen

Die mittlere Fahrtzeit auf einem Messabschnitt wird ermittelt durch Division der Länge des Messabschnitts durch die gemäß vorstehender Formel berechnete mittlere Pkw-Geschwindigkeit.

$$T_{Fz-Pkw} = \frac{L_{Messabschnitt}}{V_{Pkw}}$$

mit:

$T_{Fz-Pkw}$  = mittlere Pkw-Fahrtzeit auf dem Abschnitt

$L_{Messabschnitt}$  = Länge des Messabschnitts

Die Reisezeit auf beliebigen Streckenabschnitten ergibt sich als Summation der Fahrtzeiten auf den einzelnen Messabschnitten.

Es war zunächst vorgesehen, das Verfahren EINFACHER ANSATZ dadurch zu verbessern, dass im Streckenabschnitt auftretende Störungen berücksichtigt werden. Sie sollten durch einen Vergleich (Subtraktion) der Verkehrsstärken an zwei hintereinanderliegenden Messquerschnitten erkannt werden. Eine Störung liegt dann vor, wenn sich die Anzahl der den Messquerschnitt 1 passierenden Fahrzeuge deutlich von der Anzahl der passierenden Fahrzeuge am Messquerschnitt 2 unterscheidet. Die Größe einer Störung lässt sich anhand der Anzahl der Fahrzeuge (Summe der Differenzen am Messquerschnitt 1 und 2) ableiten. Im Fall einer Störung sollte ein von der Störungsgröße abhängiger Zeitzuschlag zur berechneten Fahrtzeit erfolgen.

In praktischen Versuchen zeigte sich, dass die normalen Schwankungen in den minütlichen Verkehrsstärken an einem Messquerschnitt so groß sind, dass mit dem oben genannten, sehr einfachen Verfahren Störungen nicht zuverlässig zu erkennen sind. Auf eine Einbeziehung der Verbesserung wurde deshalb verzichtet.

## 2.3 Direkte Messung von Reisezeiten

### 2.3.1 Unterteilung der Verfahren

Verfahren, die die Reisezeit direkt messen, lassen sich in die Gruppen

- Floating Car Data (FCD) und
- Wiedererkennung von Fahrzeugen

einteilen.

Mit Hilfe des Verfahrens FCD werden über Positionsbestimmung von Fahrzeugen deren Reisezeit und/oder Reisegeschwindigkeit ermittelt. Das Verfahren kann grundsätzlich auch weitere Daten, wie beispielsweise Momentangeschwindigkeit, Scheibenwischer an/aus, Licht an/aus, übertragen. Die zusätzlichen Informationen können bei der Fahrtzeitermittlung von Interesse sein, um geschwindigkeitsbestimmende Einflüsse, z. B. trockene oder nasse Fahrbahn, abgeleitet von einem aus- oder eingeschaltetem Scheibenwischer, mit einzubeziehen.

Bei dem auf die Wiedererkennung von Fahrzeugen basierenden Verfahren sind mindestens zwei feste Messquerschnitte erforderlich. Wird ein Fahrzeug am zweiten Messquerschnitt eindeutig wieder erkannt, errechnet sich die Fahrtzeit auf dem Ab-

schnitt als Differenz zwischen dem Zeitpunkt der Überfahrt des ersten und des zweiten Messquerschnitts. Für die Wiedererkennung von Fahrzeugen stehen video- und schleifenbasierte Verfahren zur Verfügung.

### 2.3.2 Floating Car Data

Verfahren

FCD werden aus Fahrzeugen gewonnen, die im Verkehrsstrom „mitschwimmen“ und mit speziellen Datenerfassungs- und -übertragungseinrichtungen ausgestattet sind. Sie speichern Daten wie Geschwindigkeit und Fahrtrichtung sowie die Position mit einem Zeitstempel versehen und leiten sie periodisch oder ereignisorientiert an eine Zentrale weiter. Die Fahrtzeit auf einem Streckenabschnitt entspricht der Zeitdifferenz zwischen dem Eintritt und Austritt auf diesem Abschnitt. Durch Zusammenfügen mehrerer Abschnitte können Fahrtzeiten für längere Streckenzüge ermittelt werden.

Die Positionsbestimmung erfolgt in der Regel mit dem Global Positioning System (GPS). Dazu können auch im Fahrzeug eingebaute Navigationsgeräte genutzt werden. Bakengestützte Systeme wurden früher in städtischen Bereichen verwendet, spielen jedoch im Zusammenhang mit Reisezeitermittlungen auf Autobahnen keine Rolle.

Die Kommunikation zur Zentrale erfolgt über Funk, in vielen Fällen über den Mobilfunkstandard GSM per SMS-Nachricht. Um dem Datenschutz zu genügen, können die Meldungen anonym, das heißt ohne Mitsendung der Telefonnummer des Senders, übertragen werden.

Die Daten können streckenorientiert oder punkt- bzw. ereignisorientiert übertragen werden. Bei streckenorientierten Daten werden die Fahrtzeiten für definierte Abschnitte übertragen. Im anderen Fall werden in erster Linie signifikante Geschwindigkeitssprünge, z. B. starkes Abbremsen oder Beschleunigen auf die Wunschgeschwindigkeit, gemeldet.

Ein ständiges Senden von FCD ist aus mehreren Gründen nicht sinnvoll. Einerseits wären die Aufbereitung der Daten und deren Weiterverwendung in Algorithmen zur Reisezeitberechnung und/oder Verkehrsmodellen mit einem vertretbaren Aufwand nicht mehr zu bewältigen, zumal häufig gleich bleibende Informationen, d. h. keine neuen Informationen, gesendet werden würden. Dieses Problem

wird dadurch gemildert, dass die Daten bereits im Fahrzeug durch entsprechende Algorithmen stark verdichtet werden. Andererseits entstehen mit jeder Datenübertragung Kosten. Gerade der Kostenfaktor zwingt dazu, die Datenübertragung zu minimieren. Von daher werden FCD weniger zu Zwecken von Reisezeitmessungen eingesetzt, sondern vielmehr ereignisorientiert, z. B. Einfahrt in einen Stau.

FCD werden sowohl im innerstädtischen Bereich als auch im außerörtlichen Netz gewonnen. Im innerstädtischen Bereich sind häufig Taxiflotten entsprechend ausgestattet, die einerseits viel im Netz fahren und andererseits den Vorteil haben, für die Datenübertragung das taxieigene Kommunikationssystem nutzen zu können, sodass praktisch keine oder nur minimale Kosten für die Datenübertragung anfallen. Dies erlaubt auch kurze Zeitabstände zwischen den einzelnen Datentelegrammen.

Für die Beschreibung der Verkehrssituation im Außerortsbereich, und besonders auf Autobahnen, sind Taxiflotten nicht geeignet. Die Ausstattung von Last- und Sattelzügen mit entsprechenden Geräten ist wegen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h und anderer betrieblicher Regelungen, z. B. Lkw-Überholverbote auf Autobahnen, für die Erfassung einer umfassenden Verkehrslage nicht zielführend.

Bei den Floating Cars handelt es sich meist um Privatfahrzeuge, deren Fahrer zudem häufig als Stauemelder agieren und hohe Jahresfahrleistungen aufweisen (zur Anzahl von FCD-Fahrzeugen siehe auch Kapitel 2.2.7).

Eine Erweiterung des klassischen FCD stellt das so genannte Extended Floating Car Data (XFCD) dar. Hier werden neben den klassischen Verkehrskenngrößen weitere Daten, die im Fahrzeug ohnehin vorliegen, erfasst. Dies sind beispielsweise:

- Außentemperatur (Glatteiswarnungen),
- Nässedaten (ermittelt über Regensensoren oder aktive Scheibenwischer),
- Lichtverhältnisse (ein-/ausgeschaltete Scheinwerfer),
- Warnblinker (ein-/ausgeschaltet) oder
- elektronische Hilfsprogramme (ABS, EBS, Abstandsmessungen).

Durch eine intelligente Auswertung dieser zusätzlichen Informationen können Rückschlüsse auf die

Verkehrssituation und Wetterlage gewonnen und bei der Berechnung von Verkehrslagen, Fahrtzeiten u. Ä. berücksichtigt werden.

Einschätzung des Verfahrens im Hinblick auf die Bereitstellung von Fahrtzeiten für dWiSta

FCD sind grundsätzlich geeignet, Reisezeiten zu messen. Es besteht die Möglichkeit, den Fahrzeugen über die Zentrale einen oder mehrere Streckenabschnitt(e) vorzugeben, auf dem/denen die Reisezeit zu messen ist. Im Fall einer dynamischen Routenempfehlung könnte gezielt auf die relevanten Streckenabschnitte Bezug genommen werden.

Allerdings ist diese Vorgehensweise als alleinige Methode, Fahrtzeiten zu ermitteln, zumindest auf absehbare Zeit nicht geeignet. Es kann im Hinblick auf die derzeitigen Ausstattungsquoten nicht sichergestellt werden, dass im betrachteten Zeitraum über die relevanten Abschnitte eine ausreichend große Anzahl Floating Cars fährt, um gesicherte Aussagen im Hinblick auf die Fahrtzeit treffen zu können. Unter Einbeziehung der hohen Datenübertragungskosten muss eine solche Vorgehensweise noch kritischer gesehen werden.

Insgesamt gesehen wird mit Blick auf die eigentliche Aufgabe, in dWiSta Reisezeitinformationen anzuzeigen, deren Ermittlung nur per FCD als nicht zielführend eingestuft. Davon unbenommen werden FCD, als Ergänzung zu den stationär erfassten Verkehrsdaten, auch weiterhin in Rechenalgorithmen und/oder Verkehrsmodellen eingehen.

### 2.3.3 Mustererkennung mittels Video

Verfahren

Bei der Mustererkennung mittels Videotechnik<sup>4</sup> wird nicht das Fahrzeug als solches, sondern meist nur das Kennzeichen erfasst und mit Hilfe von Texterkennungssoftware (OCR – Optical Character Recognition) als Buchstaben-Zahlen-Kombination zeitbezogen abgespeichert. Moderne Verfahren verschlüsseln automatisch das Kennzeichen, sodass es für eine Person nicht mehr als Kennzeichen lesbar ist. Damit wird den Ansprüchen an den Datenschutz Genüge getan.

<sup>4</sup> Im Englischen als Automatic Vehicle Identifikation (AVI) bezeichnet

Die Schwierigkeit bei der Kennzeichenerfassung liegt darin, das Kennzeichen als solches zu erkennen und nicht mit anderen am Fahrzeug befindlichen Beschriftungen zu verwechseln. Hierfür gibt es mehrere Lösungen. Eine Möglichkeit ist, die reflektierenden Eigenschaften des Kennzeichens zu nutzen, um dieses als Kennzeichen zu identifizieren. Eine andere Lösung vergleicht die aufgenommenen Buchstaben-Zahlen-Kombinationen mit vordefinierten Musterkennzeichen<sup>5</sup>. Bei einer entsprechenden Übereinstimmung wird die Aufnahme als Kennzeichen gespeichert. Bei diesem Verfahren ist eine direkte Zuordnung des Fahrzeugs zum Herkunftsland möglich, was aber im Hinblick auf die Ermittlung von Fahrtzeiten weniger von Interesse ist.

In allen Fällen werden hohe Anforderungen an die Kameraoptik gestellt, da die Kennzeichen relativ klein sind und gleichzeitig die Kameraposition relativ weit entfernt von der Fahrbahn sein kann. Darüber hinaus ist zu beachten, dass die Fahrzeuge mit hohen Geschwindigkeiten an der Kamera vorbeifahren. Es kommen deshalb in der Regel nur Spezialkameras zum Einsatz.

Die modernen Verfahren arbeiten praktisch vollautomatisch, d. h.

- Aufnahme und Identifikation des Kennzeichens (an beiden Standorten),
- Umwandlung des Kennzeichens in eine Buchstaben-Zahlen-Kombination und zeitbezogene Abspeicherung der Daten sowie
- Abgleich der gespeicherten Kennzeichen beider Standorte und Suchen identischer Kennzeichenpaare, Berechnen der zugehörigen Zeitdifferenz.

Problematisch ist, dass bei dem oben genannten Vorgehen anhand des Kennzeichens nicht auf den Fahrzeugtyp (Pkw, Lastwagen, Lastzug u. a.) geschlossen werden kann. Dadurch werden die im Hinblick auf Fahrtzeitermittlung besonders interessanten Pkw-Geschwindigkeiten möglicherweise zu niedrig ermittelt. Eine nachträgliche manuelle Zuordnung wäre viel zu aufwändig (personal-, zeit- und kostenintensiv) und auch gar nicht mehr möglich, zumal die Videoaufnahmen als Bild nicht abgespeichert werden.

Die Fahrzeugtypendifferenzierung muss gleichzeitig mit der Kennzeichenerfassung erfolgen und beide Informationen müssen miteinander verknüpft werden. Ein entsprechendes System wurde mittler-

weile von der TU München, Lehrstuhl für Verkehrstechnik, bis zur Einsatzreife entwickelt.

Die o. g. Verfahren „beschränken“ sich in der Regel darauf, das Kennzeichen und gegebenenfalls die Silhouette zu erkennen und abzuspeichern. Die lokale Geschwindigkeit am Aufnahmeort wird nicht erfasst.

Im Rahmen des zunehmenden Einsatzes und der Weiterentwicklung von Videotechnik zur Detektion von Verkehrszuständen ist ein entsprechendes Kamerasystem<sup>6</sup> mit zugehöriger Software auf dem Markt verfügbar. Dieses kann neben dem Kennzeichen, Fahrzeugklasse (5 + 1) und Zeitstempel auch die lokale Geschwindigkeit über virtuelle Schleifen im Kamerabild bestimmen. Das System wurde nicht vorrangig für Reisezeitmessungen entwickelt, kann aber in Verbindung mit einem zweiten System zur Fahrtzeitermittlung eingesetzt werden, da die Aufnahmezeit abgespeichert ist. Eine für Fahrtzeitermittlungen erforderliche Auswertungssoftware ist aber bislang nicht entwickelt worden.

#### Europäische Projekte

Im Rahmen des Projekts „STREETWISE“ wurde in Schottland ein Verfahren zur Wiedererkennung von Fahrzeugen anhand des Nummernschildes erprobt. Der Einsatz erfolgt vorrangig, um die Genauigkeit der mittels Verkehrskenngrößen berechneten Reisezeiten zu verbessern. Dabei standen Verkehrsstörungen im Bereich von Baustellen im Fokus, da sich hier die Reisezeitvorhersagen als besonders schwierig erwiesen haben. Eingesetzt wurde ein mobiles System. Die Verkehrsteilnehmer wurden über mobile, frei programmierbare Informationstafeln über die Größe der Verzögerung unterrichtet.

Reisezeitvorhersagen mittels Nummernschilderkennung wurden in Finnland im Sommer 2000 auf einem 28 km langen Abschnitt der Hauptstraße zwischen Heinola und Lahti erprobt. Der Streckenabschnitt war in vier Abschnitte unterteilt, deren Anfangs- bzw. Endpunkt mit entsprechenden Kameras überwacht wurden. Die Gesamtreisezeit wurde als Summe der Einzelzeiten berechnet und um eine konstante Zeit ergänzt, die die Reisezeit auf nicht

<sup>5</sup> Wird angewendet im Verfahren „traffic scan“ der Firma VMT Düsseldorf, Essen

<sup>6</sup> Weiss-Elektronik GmbH, LPR Kamera, VCI700

überwachten Abschnitten widerspiegeln sollte. Eine Vorhersage der Reisezeit für den Gesamtabschnitt, nur auf Basis der Reisezeiten wieder erkannter Fahrzeuge auf Teilabschnitten der Gesamtstrecke, führt zu sehr schwankenden Reisezeiten. In dem speziellen Fall wurde es deshalb als notwendig erachtet, die Daten der Videomessung anhand von Verkehrskenngrößen (Induktivschleifen) sowie bekannten Ganglinien abzugleichen.

Einschätzung des Verfahrens im Hinblick auf die Bereitstellung von Fahrtzeiten für dWiSta

Die Messung von Reisezeiten mittels Videoaufzeichnung und Mustererkennung (Nummernschilderkennung) ergibt für den betreffenden Abschnitt in der Regel sehr genaue Werte. Die finnischen Untersuchungsergebnisse werden als nicht repräsentativ eingestuft. Die Wiedererkennungsraten der Kennzeichen liegt nach glaubwürdigen Herstellerangaben bei über 90 %. Dabei sind allerdings in Bezug auf die Messaufgabe optimale Kamerastandorte unterstellt; dies wird im praktischen Betrieb nicht immer möglich sein. Witterungsbedingte, negative Einflüsse auf das Messergebnis sind vor allem bei Schneefall möglich.

Die Erhebung von Reisezeiten mittels Videotechnik wird unter technischen Gesichtspunkten grundsätzlich als geeignetes Verfahren angesehen, weil es, dies belegen die meisten Anwendungen, sehr zuverlässige Fahrtzeiten in hoher Anzahl liefert. Allerdings ist bei dem Verfahren Folgendes zu beachten:

Die Investitionskosten für ein solches System sind sehr hoch. Für jeden Fahrstreifen ist nach dem derzeitigen Stand der Technik eine eigene Kamera erforderlich, deren Kosten mehrere 1.000 € betragen. Hinzu kommen Kosten für Montagevorrichtungen und Auswerteeinheiten. Ein linienhafter Einsatz dieser Technik auf Autobahnen ist wegen hoher Investitionskosten praktisch nicht möglich.

Es muss ferner sichergestellt sein, dass die Messergebnisse sehr zeitnah bereitgestellt werden, sollen sie eine Grundlage für dynamische Routenempfehlungen bilden. Dazu wird, wegen der dezentralen Kamerastandorte, voraussichtlich eine Datenübertragung per Funk (z. B. GPRS oder UMTS) notwendig werden, wodurch Gebühren dauerhaft anfallen. Zur Reduzierung der Datenübertragungskosten sollte die Auswertung weitge-

hend direkt am Kamerastandort erfolgen, damit die Datenmenge minimiert wird.

Insgesamt betrachtet wird der Einsatz von Reisezeitmessungen per Videotechnik zu Zwecken der dynamischen Routenempfehlungen als „nicht wirtschaftlich“ eingestuft. Einsatzgebiete dieser Technik werden mehr in speziellen, kleinräumigen Messaufgaben, wie beispielsweise Kontrollmessungen, gesehen. Diese Aussage gilt umso mehr, da die Systeme häufig auch mobil eingesetzt, d. h. leicht umgesetzt, werden können.

### 2.3.4 Mustererkennung mittels Induktivschleifen – Verfahren MAVE-S

Verfahren

Die Wiedererkennung von Fahrzeugen anhand typischer Verstimmungskurven von Induktivschleifen wird derzeit vergleichsweise selten eingesetzt. Ein System umfasst mindestens zwei miteinander verbundene Messquerschnitte und die zugehörige Auswertehard- und -software. Ein komplettes auf diesem Verfahren beruhendes Messsystem wird von der Firma ave Verkehrs- und Informationstechnik GmbH unter der Bezeichnung „MAVE-S“ angeboten. Weitere Anbieter mit einem vergleichbaren Verfahren sind nicht bekannt.

Eine detaillierte Beschreibung des Systems findet sich in Dokumentationen des Unternehmens ave Verkehrs- und Informationstechnik GmbH [2, 3]. Nachfolgend werden deshalb nur die Grundzüge des Verfahrens dargestellt.

Die Datenerfassung erfolgt mit TLS<sup>7</sup>-konformen fahrstreifenbezogenen Induktivschleifen. Diese Schleifen liefern die üblichen Verkehrskenngrößen (Geschwindigkeiten und Verkehrsstärken, differenziert nach Pkw und Lkw, Nettozeitlücke und Belegung). Zusätzlich wird die bei der Überfahrt erzeugte Verstimmungskurve aufgezeichnet und digitalisiert. Die Verstimmungskurven werden in einen Merkmalsvektor überführt, der das Fahrzeug bzw. ein Fahrzeugkollektiv beschreibt. Diese Daten werden in Listen gespeichert.

Die Listen zweier benachbarter Messquerschnitte werden mit einem mehrstufigen adaptiven Korrelationsalgorithmus verglichen, um identische Fahrzeu-

<sup>7</sup> TLS – Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen, Stand 2002 [12]

ge zu identifizieren. Dabei werden die Listen der beiden Messquerschnitte während des Vergleichs mehrfach gegeneinander verschoben, um auf der Strecke stattgefundenen Vermischungen erkennen zu können.

Die im System implementierte Entscheidungsregel, wann Fahrzeuge identisch sind, wurde empirisch ermittelt.

In der ersten Stufe erfolgt ein Einzelvergleich von Fahrzeugen am Messquerschnitt 1 und 2. Wenn keine Übereinstimmung ermittelt wird, erfolgt in der Stufe 2 ein Vergleich von Fahrzeuggruppen. In Stufe 3 findet eine Plausibilisierung der ermittelten Identifikationen statt. Bei einer erkannten Pseudo-Übereinstimmung werden die entsprechenden Paare eliminiert.

Die Fahrzeit zwischen zwei Messquerschnitten entspricht genau der Zeitdifferenz des Passierens des ersten und zweiten Messquerschnitts. Mit Hilfe der ermittelten Paare lassen sich weitere Verkehrskenngrößen, wie Vermischungs- und Überholverhalten, Verkehrsdichten u. Ä. berechnen.

Das Verfahren ist wegen der benötigten Verstimmungskurve zwingend auf Induktivschleifen angewiesen. Will man nicht eine doppelte Datenerfassung in Kauf nehmen, scheiden Streckenabschnitte mit vorhandenen Video- oder Infrarotdetektoren generell aus.

Nach Aussagen des Herstellers funktioniert das System, wenn mindestens 50 % der über dem Messquerschnitt 1 gefahrenen Fahrzeuge auch den Messquerschnitt 2 passieren. Als weitere Randbedingungen ist zu beachten, dass das System nur dann funktioniert, wenn eine Mindestgeschwindigkeit, die etwa zwischen 10 und 15 km/h liegt, nicht unterschritten wird.

Das System besteht aus autark arbeitenden Streckenstationen (je Messquerschnitt eine), die einerseits die TLS-konformen Verkehrskenngrößen und andererseits die digitalisierten Muster der passierenden Fahrzeuge/Fahrzeuggruppen erzeugen. Benachbarte Streckenstationen sind über einen Datenbus miteinander verbunden. Zusätzlich sind die Streckenstationen an eine übergeordnete (Unter-)Zentrale angebunden, in der die Auswertungen durchgeführt und die Daten gespeichert werden. Die Weitergabe der Daten an eine Verkehrsleitzentrale zu Überwachungs- und Steuerungszwecken ist möglich.

MAVE-S wurde erstmals 1988 eingesetzt. Derzeit ist es auf dem etwa 25 km langen Abschnitt der A 8 zwischen der AS Hohenstadt und dem AK Ulm sowie in der Schweiz auf der N 1 im Raum Bern im Einsatz.

Das Messverfahren wird in Köln auf einer innerstädtischen Hauptverkehrsstraße (Aachener Straße) eingesetzt.

#### Erkennen von Verkehrsstörungen

Das System ermöglicht, Verkehrsstörungen auch dann zu erkennen, wenn an den stationären Messquerschnitten ein noch ungestörter Verkehrsfluss herrscht. Eine längere als die vordefinierte Sollfahrzeit deutet auf eine Verkehrsstörung hin, die mit einer Fahrzeitverlängerung verbunden ist. Damit werden größere Messquerschnittsabstände möglich.

Dies ist auch bei der Wiedererkennung per Video möglich. Verfahren, die sich nur auf die Verkehrskenngrößen der stationären Messquerschnitte stützen, können Verkehrsstörungen erst dann erkennen, wenn diese von den erwarteten Kenngrößen abweichen.

Einschätzung des Verfahrens im Hinblick auf die Bereitstellung von Fahrzeiten für dWiSta

Reisezeitmessungen anhand von Mustererkennungen mittels Induktivschleifen werden als geeignet eingestuft.

Die erforderliche Hard- und Software für das System MAVE-S ist wegen der speziellen Auswerteeinheit teurer als für herkömmliche Streckenstationen. Mehrkosten könnten allerdings durch größere Messquerschnitte teilweise kompensiert werden.

#### 2.3.5 Wiedererkennung über Mautdaten

Die Bestimmung von Fahrzeiten über den Vergleich des Zeitstempels beim Eintritt in eine bemaute Strecke und beim Austritt aus einer bemaute Strecke (Electronic Fee Collection System – EFC) ist unter technischen Gesichtspunkten einfach realisierbar. Entsprechende Fahrzeiterfassungen werden auf vielen bemaute Autobahnen außerhalb von Deutschland durchgeführt. Sie erlauben entsprechend den vorgegebenen Mautklassen eine einfache Differenzierung der Fahrzeiten für einzelne Fahrzeugtypen. Diese Methode bietet ferner die Vorteile, dass alle Fahrzeuge erfasst wer-

den (Mautpflicht) und das System praktisch ausfallsicher ist.

Dennoch dürfte dieses System allein nicht ausreichen, um Fahrtzeitverlängerungen sicher und angemessen schnell zu erfassen und in dynamische Routenempfehlungen einzubinden. Ein Grund dafür ist, dass zwischen Einfahrt und Ausfahrt in die/aus der Mautstrecke häufig sehr lange Fahrtzeiten, oft mehrere Stunden, auftreten. Gerade bei langen Fahrtzeiten, die über einer Normfahrtzeit liegen, können viele Faktoren die Fahrtzeit beeinflussen. Der Fahrer kann mit einer unterdurchschnittlich niedrigen Geschwindigkeit gefahren sein, er kann zwischenzeitlich eine Pause eingelegt haben oder aber durch eine Verkehrsstörung aufgehalten worden sein. Lange Fahrtzeiten sind im Hinblick auf das Erkennen von Fahrtzeitverlängerungen auch deshalb problematisch, weil beim Austritt aus der Mautstrecke, erst hier wird Fahrtzeitverlängerung erkannt, eine mögliche Verkehrsstörung als Ursache der Fahrtzeitverlängerung schon nicht mehr existent sein kann.

Von daher sind EFC-Fahrtzeiten aussagekräftiger, je kürzer die Fahrtstrecke ist. Am günstigsten wäre eine Fahrt nur von einer Anschlussstelle zur nächsten. Aber auch in einem solchen Fall ist mit vergleichsweise langen Fahrtzeiten zu rechnen, weil die Anschlussstellenabstände bei bemauteuten Strecken häufig relativ groß sind. Auch dürfte die Anzahl der Fahrzeuge, die von einer Anschlussstelle nur bis zur nächsten oder zur übernächsten fahren, relativ gering sein. Insbesondere in verkehrsschwächeren Zeiten müsste geprüft werden, ob eine ausreichende Datenbasis erreicht werden kann.

Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass in Ballungsgebieten Autobahnen teilweise mautfrei sind. Damit könnte es vorkommen, dass gerade für besonders wichtige Netzabschnitte keine Daten vorliegen.

Auf bundesdeutschen Autobahnen ist dieses System generell nicht einsetzbar, da für Pkw keine Mautpflicht besteht. Entsprechende Fahrtzeiten wären gar nicht zu erheben.

#### Mautpflicht schwerer Lkw

Grundsätzlich denkbar ist die Nutzung von Daten, die im Rahmen der Mautpflicht schwerer Lkw gesammelt werden. Die überwiegende Mehrzahl dieser Informationen liegt, weil die Datenerfassung

elektronisch über das GPS-System erfolgt, weg- und zeitbezogen vor. Die Ableitung von streckenbezogenen Fahrtzeiten ist deshalb grundsätzlich möglich, auch für kürzere Streckenabschnitte.

Allerdings dürfen Daten der Mauterfassung nach den gesetzlichen Bestimmungen ausschließlich für Zwecke der Mautberechnung verwendet werden. Auch wenn für die Fahrtzeitermittlung keine Lkw-bezogenen Daten notwendig sind, wäre eine rechtliche Prüfung einer solchen Vorgehensweise anzuraten.

Die so ermittelten Fahrtzeiten gelten nur für den schweren Lkw-Verkehr. Es besteht deshalb die Notwendigkeit, von den Fahrtzeiten des Lkw-Verkehrs auf die des Pkw-Verkehrs zu schließen. Entsprechende Algorithmen sind nach Kenntnis des Gutachters bislang nicht entwickelt worden, werden aber prinzipiell als machbar eingeschätzt. Ein kurz- oder auch mittelfristiger Einsatz von Daten zur Mauterfassung, um daraus Fahrtzeiten abzuleiten, ist aber nicht wahrscheinlich. Auf eine Einbeziehung einer Fahrtzeitermittlung mittels Mautdaten schwerer Lkw wird deshalb im Rahmen dieser Studie verzichtet.

#### 2.3.6 Zusammenfassung der Ergebnisse der Recherche zum Thema Reisezeitberechnung

Die Literatur- und Datenrecherche macht deutlich, dass dem Thema Reisezeitberechnung und der zugehörigen Information der Verkehrsteilnehmer weltweit große Beachtung zukommt. In vielen Ländern sind entsprechende Systeme bereits seit längerem im Einsatz. Es wird aber auch deutlich, dass die Ansprüche und die Zielsetzungen solcher Systeme sehr unterschiedlich definiert werden.

Von daher verwundert es nicht, dass die realisierten Systeme sehr projektspezifisch ausgerichtet sind. Dies betrifft gleichermaßen die Verfahren zur Ermittlung der Reisezeit wie auch die Informationsvermittlung (Schildergestaltung). Eine einfache Übertragung der Verfahren zur Reisezeitberechnung auf deutsche Verhältnisse ist wegen der starken Projektbindung kaum möglich. Hinzu kommt, dass die eigentlichen Algorithmen meistens nicht frei verfügbar sind, da sie Firmen-Know-how darstellen.

Die überwiegende Mehrzahl der realisierten Systeme nutzt die Datenerfassung mit ortsfesten Sensoren. Direkte Reisezeitmessungen sind selten

und dienen vor allem der Plausibilitätsprüfung berechneter Daten. Eine diesbezügliche Ausnahme bilden Reisezeitmessungen mit dem Electronic Fee Collection System (EFC). Ein solches System ist aber in Deutschland nicht möglich, da die Autobahnen für Pkw mautfrei sind.

Die direkte Messung von Fahrtzeiten erlaubt auch Aussagen in Hinblick auf die Verkehrszustände auf den Abschnitten zwischen den ortsfesten Messstationen. Von daher sind entsprechende Verfahren für Fahrtzeitermittlungen grundsätzlich gut geeignet. Allerdings sind die technischen Erfordernisse aufwändiger als die heute meist angewendete Verkehrsdatenerfassung mittels Induktivschleifen.

Der potenzielle Vorteil der direkten Reisezeitmessung relativiert sich etwas, weil auch Verfahren zur Störfallerkennung weiterentwickelt und verfeinert werden. Dies gilt sowohl für die eigenständigen, speziell auf die Störungserkennung ausgelegten Verfahren als auch für modellgestützte Verfahren. Im Verfahren ddg sind beispielsweise entsprechende Algorithmen integriert, die besonders störanfällige Abschnitte (z. B. Bereiche mit einer Fahrstreifeneinziehung) speziell auf mögliche und absehbare Verkehrsstörungen hin untersuchen.

Viele der Verfahren sind (grundsätzlich) in der Lage, anhand von historischen Ganglinien auch prognostische Aussagen zur Verkehrssituation und damit auch zu den erwarteten Fahrtzeiten auf den Streckenabschnitten zu treffen. Die Problematik historischer Ganglinien ist aber, dass sie einen für einen definierten Verkehrszustand durchschnittlichen Verkehrsablauf beschreiben. Zufällige Einflüsse auf das Verkehrsgeschehen, z. B. außergewöhnlich hoher Lkw-Anteil oder Fahrtzeitverlängerungen infolge eines auf dem Standstreifen abgestellten Fahrzeugs, bleiben unberücksichtigt. Trotz dieser Problematik ist im Hinblick auf die dynamische Routenempfehlung die Möglichkeit prognostischer Aussagen von Berechnungsverfahren nicht zu unterschätzen.

Die Wirkungen von Verkehrsverlagerungen (Veränderungen der Verkehrsstärke) infolge dynamischer Routenempfehlung berücksichtigt keines der betrachteten Projekte/Verfahren.

Die ermittelten Fahrtzeiten werden in der überwiegenden Mehrzahl als „gut“ bezeichnet, wobei diese Einstufung häufig vom Entwickler oder Betreiber eines System vorgenommen wurde. Von

Dritten durchgeführte Kontrollen/Überprüfungen kommen häufig zu einem ähnlichen Ergebnis. Dies lässt den Schluss zu, dass Reisezeiten unter Verwendung üblicher Messwerte, z. B. Geschwindigkeit, Verkehrsstärke, Zeitlücken, mit einer hinreichenden Genauigkeit berechnet werden können, um sie in Informationssystemen anzeigen zu können. Die in der Literatur gefundenen Reaktionen von Verkehrsteilnehmern auf entsprechende Systeme waren durchweg positiv.

### 2.3.7 Ausgewählte Verfahren für den Praxistest

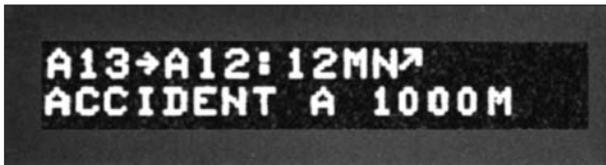
Aufgrund der Erkenntnisse der durchgeführten Literatur- und Datenrecherche werden die nachfolgenden vier Verfahren als generell geeignet eingestuft und in den Praxistest einbezogen. Die Verfahren 1 bis 4 werden auf deutschen Autobahnen angewendet, Sie unterscheiden sich hinsichtlich ihres methodischen Ansatzes voneinander.

1. Reisezeitberechnung mit Hilfe von Verkehrsmodellrechnungen (Verfahren ddg),
2. Reisezeitberechnung mit Hilfe von Verkehrssimulation (Verfahren OLSIM ),
3. Reisezeitberechnung mit Störfallerkennungsalgorithmus (Verfahren ASDA/FOTO),
4. Reisezeitberechnung anhand von Reisezeitmessungen (Verfahren MAVE-S),
5. Reisezeitberechnung anhand lokaler Geschwindigkeiten (Verfahren EINFACHER ANSATZ).

## 2.4 Wahrnehmungspsychologische Aspekte der Schildergestaltung

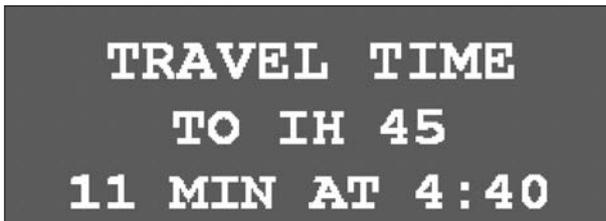
### 2.4.1 Einführung

Frei programmierbare Informationstafeln, die Informationen über Reisezeiten, aber auch andere Informationen, z. B. Hinweise auf Verkehrsstörungen, beinhalten können, sind international schon seit längerem im Einsatz. Auf deutschen Autobahnen werden vergleichbare Schilder nur im Rahmen der dWiSta eingesetzt. Es gibt auf europäischer Ebene Bestrebungen, die Darstellung auf diesen Tafeln zu vereinheitlichen, bislang unterscheiden sich die eingesetzten VMS in Form und Inhalt jedoch erheblich. Die Bilder 2.5 bis 2.7 zeigen Beispiele aus Frankreich, den USA und Österreich. Weitere Beispiele enthalten die Kapitel 2.2.2 bis 2.2.4.



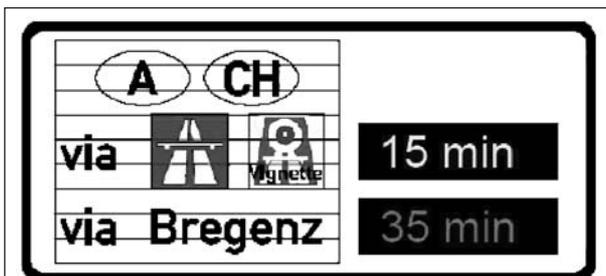
Bildquelle:  
[http://www.sytadin.equipement.gouv.fr/PMV\\_sytadin/](http://www.sytadin.equipement.gouv.fr/PMV_sytadin/)

**Bild 2.5:** Variable Message Sign (VMS) in der Region île de France, Frankreich



Bildquelle:  
[http://ops.fhwa.dot.gov/publications/travel\\_time\\_study/houston/houston\\_ttm.htm](http://ops.fhwa.dot.gov/publications/travel_time_study/houston/houston_ttm.htm)

**Bild 2.6:** VMS in den USA



Bildquelle:  
[http://www.momatec.de/fileadmin/documents/news/Praesentation\\_Deweis.pdf](http://www.momatec.de/fileadmin/documents/news/Praesentation_Deweis.pdf)

**Bild 2.7:** Verkehrsbeeinflussungsanlage im Raum Vorarlberg, Österreich

Im Folgenden werden einige Merkmale dieser eingesetzten VMS zusammengetragen, die vor allem die Anzeige von Reisezeitinformationen betreffen [10, 20]:

- Dargestellte Reisezeiten beziehen sich meist auf ein bestimmtes Ziel (eine Stadt, eine Anschlussstelle etc.),
- oft erfolgt nur eine Information über die Standardroute, Informationen über die Alternativroute fehlen,
- es werden oft nur kürzere Reisezeiten angezeigt, meist nicht mehr als 30 min,
- in einigen Fällen in den USA wird empfohlen, Reisezeiten als Zeitspanne (z. B. „8-12 min“) anzuzeigen,
- zum Teil wird auch der Zeitpunkt der Messung angezeigt, um Informationen über die Verlässlichkeit zu liefern,
- einige Systeme sind immer eingeschaltet, d. h., sie zeigen auch die aktuelle Reisezeit für eine bestimmte Route an, wenn keine Verzögerungen auftreten,
- es gibt zum Teil farbige Kodierungen der Reisezeiten (z. B. rot/grün) und
- in manchen Fällen werden Pfeil-Symbole für eine tendenzielle Zunahme oder Abnahme der Reisezeit angezeigt.

Die Recherche der aktuellen Literatur zu wahrnehmungspsychologischen Aspekten der Anzeigen- oder Schildergestaltung mit dem Fokus auf Reisezeitangaben zeigte, dass Studien in diesem speziellen Bereich eher selten zu finden sind. Die Quellenangaben beschränken sich häufig auf technische Aspekte der Informationstafeln bzw. auf die Berechnung der Reisezeiten.

Neben den wahrnehmungspsychologischen Aspekten der Schildergestaltung wurden in die Literaturrecherche auch Untersuchungen zu Aspekten der Routenwahl einbezogen, die auf der Grundlage von Reisezeitinformationen auf frei programmierbaren Informationstafeln getroffen wurden. Abschließend wird auf die Wirkungen von Reisezeitinformationen in Form von Akzeptanzuntersuchungen eingegangen.

#### 2.4.2 Erkenntnisse aus wahrnehmungspsychologischen Untersuchungen zur Schildergestaltung

Eine wesentliche Grundlage für die Entwicklung der „Hinweise zur Gestaltung von dynamischen Wegweisern mit integrierten Stauinformationen (dWiSta)“ in Deutschland [11] bilden die wahrnehmungspsychologischen Erkenntnisse aus der Untersuchung von FÄRBBER et al. zu dynamischen Verkehrsinformationstafeln [21]. Im Teil 2 des Berichtes „Nutzerbedürfnisse und wahrnehmungspsychologische Gestaltung“ erarbeiten FÄRBBER et al. Vorschläge zur Gestaltung von dWiSta-Tafeln. Die wichtigsten Erkenntnisse und Vorschläge mit Relevanz für das Forschungsvorhaben sind:

- Es gibt zwei dreizeilige Textblöcke,
- weiße Schrift auf schwarzem Grund,
- die Schreibweise ist linksbündig,

- es gibt Groß- und Kleinschreibung,
- es sollte eine sparsame Verwendung von Text geben und
- das Schild sollte „eine Geschichte erzählen“.

Weitere Aspekte sind aus dem EU-Projekt „Traffic Optimisation by the Integration of Information and Control“ (TROPIC) hervorgegangen. Dort wurde empfohlen, dass der Inhalt von variablen Informationstafeln aus nicht mehr als sieben Wörter (incl. Symbolen) bestehen sollte, von denen maximal zwei Zahlen sind.

Einen direkten Bezug zur Wahrnehmung von Reisezeitinformationen auf Autobahnen untersuchten FÄRBER et al. in einer Befragung, die Bestandteil des o. g. Gesamtprojektes war. Probanden wurden Entwürfe von dynamischen Wegweisern mit integrierten Stauinformationen gezeigt, die unter anderem auch Reisezeitinformationen enthielten. Dabei wurde zwischen einer absolut frei programmierbaren Überkopfvariante des Schildes und einer seitlichen Variante mit zwei Textblöcken und einem Pfeilgerüst variiert, welche der derzeit empfohlenen Form der dWiSta ähnelte. Aufgrund der Ähnlichkeit zur jetzigen Variante wird nur auf die Ergebnisse der seitlichen Blockvariante eingegangen.

Es wurden zwei Darstellungsarten für Reisezeiten betrachtet. Eine Variante beinhaltete absolute Reisezeiten:

- „[Stausymbol] – Ohmenstetten via Hausen A 6 – 90 min“,
- „Ohmenstetten via A 7/A 8 – 60 min“.

Bei beiden Anzeigeformen beträgt der Prozentsatz an Probanden, die diese Informationen richtig deuteten, zwischen 60 % (60-min-Information) und 70 % (90-min-Angabe).

Die zweite Variante zeigte eine Verlustzeit, d. h. die zeitliche Differenz zu einer ungestörten Fahrt. Die Anzeige enthielt:

- „[Stausymbol] – Stau hinter Löwenstein – + 20 min“.

Hier lag der Anteil der richtigen Interpretation mit 93 % deutlich höher.

### 2.4.3 Entscheidungsaspekte bei Reisezeitangaben

Die in den dWiSta dargestellten Informationen sollen den Verkehrsteilnehmer über den stromabwärtigen

Verkehrszustand informieren, ihn dadurch in seiner Routenwahl beeinflussen und so überlastete Streckenabschnitte entlasten. Ergänzend zu den Aspekten der Wahrnehmung werden deshalb auch die Entscheidungsprozesse der Fahrer, das heißt, ob sie weiter auf der Standardroute fahren oder der Alternativroutenempfehlung folgen, betrachtet.

In „Route choice: Wayfinding in transportation networks“ [9] beschreiben BOVY und STERN Gründe, die zu einer bestimmten Routenwahl führen. Sie untersuchten dabei auch verschiedene Verkehrsteilnehmer (z. B. Lkw-Fahrer, Pkw-Fahrer, Fahrradfahrer und Fußgänger) und trugen eine Vielzahl möglicher Gründe zusammen, u. a. Straßenbeschaffenheit, Wetter, Vertrautheit mit der Route, Länge der Route, Reisezeit etc. Das wichtigste Kriterium in allen Fahrergruppen war mit Abstand die Reisezeit. Es sollte aber beachtet werden, dass sich die Angaben auf das Routenwahlverhalten vor Antritt der Fahrt/Reise beziehen.

Für den Fall eines Staus spielen situative Informationen, also Informationen über den Stau und dessen mögliche Umfahrung, eine stärkere Rolle. FÄRBER et al. untersuchten in ihrer Studie die Informationsbedürfnisse der Fahrer im Falle eines Staus. Sie erfassten diese mit Hilfe einer Internetbefragung und des o. g. Interviews. Die beiden interessantesten Kenngrößen für die Nutzer sind dabei eindeutig die Staulänge (in km) und die Stauzeit (in min). Die Frage, welche dieser beiden die wichtigere sei, wird allerdings ambivalent beantwortet. So wird in der Internetbefragung die Dauer wichtiger als die Länge (56 % zu 38 %) bewertet, im Interview jedoch die Länge wichtiger als die Dauer (52 % zu 38 %). Als wichtige Informationen über die Umleitungsempfehlung wünschen sich rund 60 % der Befragten im Interview eine Information über die Zeit, die zum Fahren der Umleitung benötigt wird. Die Priorität dieser Information wurde als „zweitwichtig“ bewertet. Rund 40 % wünschten auch eine Information über die zusätzlich zu fahrenden Kilometer. Hier wurde die Priorität als „drittwichtig“ eingestuft. Auf Platz eins lag die Information über den Namen der Ausfahrt (87 %, Priorität „am wichtigsten“).

Um die Ergebnisse über die Wünsche zu Alternativrouteninformationen zu bewerten, fragten FÄRBER et al. in ihrem Interview, ob eher eine kürzere Fahrtzeit oder eine kürzere Strecke einen wichtigeren Einfluss auf die Entscheidung habe. Hierbei ging es nicht explizit um einen Stau, sondern um eine von zwei alternativen Fahrtrouten. 83 % entscheiden

sich in dieser Untersuchung für die Route mit der kürzeren Fahrtzeit. Von diesen 83 % gaben 18 % an, dass es sich immer lohne, die Alternativroute zu wählen, 53 % gaben an, dass es sich ab einer kürzeren Fahrtzeit von durchschnittlich 21 min lohne, und 5 % nur wenn sie es eilig hätten.

MEIER-EISENMANN et al. [38] untersuchten Auswirkungen von Informationen über Stauzeit und Staulänge in einem Feldversuch. Die Ergebnisse zeigen, dass bei identischen Stauzuständen Informationen zur Staulänge zu mehr Ausweichverkehr führen. Als Erklärung führen die Autoren an, dass diese Informationen schwerer abschätzbar seien und somit eine abschreckende Wirkung hätten.

Einige generelle Befunde zeigen, dass bei steigender angezeigter Stauzeit auf der Standardroute auch eine Zunahme der Abweichung von der Standardroute beobachtet werden kann [38, 29]. Allerdings liegen hier keine Befunde über den genauen Zusammenhang zwischen beiden Faktoren vor.

Eine weitere interessante Untersuchung zum Entscheidungsverhalten im Zusammenhang mit Reisezeitinformationen wurde von KATSIKOPOULOS et al. durchgeführt [31]. Den Probanden wurden in einem Fragebogen und in einem Fahrsimulator Reisezeitinformationen für zwei Routen gegeben.

Auf der Standardroute wurde eine Reisezeit angegeben (100 min), auf der Alternativroute eine Reisezeitspanne (z. B. 80 bis 110 min).

Ein wichtiges Ergebnis war, dass die Hauptroute umso häufiger verlassen wurde, je deutlicher der Durchschnitt der Zeitspanne auf der Alternativroute unter der Reisezeit auf der Standardroute lag. Im Simulator (Entscheidung unter Zeitdruck) verhielten sich die Probanden risikofreudiger; hier nutzten sie die Alternativroute umso häufiger, je größer die dortige Zeitspanne war. Dies erfolgte auch bei einer durchschnittlichen Reisezeit auf der Alternativroute, die leicht über der Reisezeit auf der Standardroute lag. Bei der Untersuchung ohne Entscheidungsdruck war dies nicht der Fall (Fragebogen).

Des Weiteren wurde auch die Dringlichkeit für das Erreichen des Reiseziels variiert. Den Probanden wurde gesagt, dass sie entweder in ihrem normalen Zeitplan lägen oder 10 min früher ihr Ziel erreichen würden. Diese Variable hatte die erwartete Wirkung auf das Entscheidungsverhalten. Bei einem angenommenen Zeitpuffer von 10 min wurden weniger risikofreudige Entscheidungen gefällt als ohne Zeitpuffer.

#### 2.4.4 Akzeptanz von Reisezeitangaben

Ein wichtiger Aspekt von technischen Systemen bildet die Nutzerakzeptanz. Im Jahr 2004 fand in Frankreich eine Befragung von Fahrern auf der Strecke Paris–Caen statt [10], auf der variable Hinweistafeln und andere Stauinformationssysteme (Radio, Internet) im Betrieb sind. Ein allgemeines Ergebnis ist, dass es eine hohe Zufriedenheit bei den Nutzern der Reisezeitinformationen, die auf variablen Hinweistafeln angezeigt wurden, gibt. Wie detailliertere Ergebnisse zeigen, fanden 90,9 % der Nutzer die Informationen klar und verständlich. 96,8 % fanden die Information nützlich. 71,7 % gaben an, dass die Informationen über die Reisezeiten immer angezeigt werden sollten, nicht nur wenn eine Störung auf der Route auftritt. 93,3 % stuften die Informationen auf den Anzeigen als zuverlässig ein.

#### 2.4.5 Resümee

Zu Reisezeitinformationen auf frei programmierbaren Informationstafeln oder auch dWiSta-Tafeln liegen in Bezug auf wahrnehmungspsychologische Aspekte bisher wenige Befunde vor. Hier zeigt sich vor allem der Forschungsbedarf in Deutschland hinsichtlich der Gestaltung und Akzeptanz der Schilder. In welcher Form Reisezeitinformationen das Routenwahlverhalten im Sinne der gegebenen Umleitungsempfehlung beeinflussen, ist nur wenig erforscht. Hier soll die vorliegende Untersuchung einen Beitrag leisten.

Für die Untersuchung geeigneter Gestaltungen der dWiSta werden die folgenden Resultate aus der Literaturrecherche berücksichtigt:

- Die Einbettung der Reisezeiten in dWiSta erfolgt im Rahmen der zugehörigen „Hinweise für die einheitliche Gestaltung und Anwendung an Bundesfernstraßen“,
- es sollten sowohl Staulängen in Kilometern als auch Stauzeiten in Minuten untersucht werden,
- Reisezeiten werden tendenziell schlechter verstanden als Reisezeitverlängerungen infolge von Staus,
- es werden Informationen für die Reisedauer auf der Umleitungsrouten gewünscht; die Priorität ist hier klar als zweitwichtigste Information, hinter der Angabe über die zu benutzende Autobahnabfahrt, gewählt worden,

- Informationen über die Länge der Umfahrung sind tendenziell auch gewünscht, allerdings nur mit einer Priorität „dritt wichtig“ hinter der Reisedauer auf der Umleitung,
- es sollten möglichst wenige Zahlen eingesetzt werden, max. zwei pro Block, und
- Gestaltungsarten, wie farbige Darstellungen, Reisezeitspannen, Darstellung von Zu- oder Abnahme der Reisezeit, stehen schon wegen der Unvereinbarkeit mit der vorgegebenen Grundform der dWiSta-Tafeln nicht im Fokus dieser Untersuchung.

### 3 Bewertung der Eignung ausgewählter Verfahren zur Reisezeitberechnung

#### 3.1 Eingangsgrößen und Ergebnisse der in den Praxistest einbezogenen Verfahren

In Tabelle 3.1 sind die wichtigsten Eingangsgrößen und Berechnungsergebnisse der in den Test einbezogenen Verfahren als Übersicht zusammengestellt.

#### 3.2 Auswahl und Beschreibung der Teststrecken

##### 3.2.1 Ablauf Praxistest

Der Praxistest dient der Verifizierung der durch die Verfahren berechneten Fahrtzeiten mittels gemessener Fahrtzeiten auf ausgewählten Teststrecken. Bei einer ausschließlich theoretischen Ermittlung von „Kontrollfahrtzeiten“ würden letztendlich nur die Modellannahmen der Modelle überprüft, nicht aber der Wahrheitsgehalt der berechneten Fahrtzeit. Die Verifizierung erfolgte auf drei Autobahnen mit unterschiedlicher Charakteristik (siehe Kapitel 3.2.2 bis 3.2.5).

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wird als Teststrecke (siehe Glossar) ein über mehrere Anschlussstellen reichender Autobahnabschnitt definiert. Für diesen Abschnitt liegen sowohl die Verkehrskenngrößen der stationären Messquerschnitte vor als auch die von den dort im Einsatz befindlichen Verfahren berechneten Fahrtzeiten. Über die gesamte Länge der Teststrecke wurden Kontroll-

fahrten vorgenommen. Dabei wurde ein Geschwindigkeitsprofil der Fahrt weg- und zeitbezogen aufgezeichnet.

Innerhalb der Teststrecke liegt die Kontrollstrecke (siehe Glossar), auf der die Kontrollfahrtzeiten durch videobasierte Kennzeichenerfassungen an zwei Querschnitten durch den Forschungsnehmer erhoben werden. Die Videomessungen fanden zeitgleich mit den Kontrollfahrten statt.

Die Kontrollmessungen und -fahrten führte der Forschungsnehmer mit eigenem Personal durch.

Während des auf zwei Wochen angelegten Praxistests wurden die Verkehrskenngrößen der stationären Messstellen im Zuge der Teststrecken (minütliche fahrstreifenbezogene Verkehrsmengen und Geschwindigkeiten, differenziert nach Pkw und Lkw) von den zuständigen Straßenbauverwaltungen aufgezeichnet und dem Forschungsnehmer zur Verfügung gestellt. Die Ergebnisse der einbezogenen Verfahren zur Reisezeitberechnung liegen ebenfalls für diesen Beobachtungszeitraum vor. Videomessung und Kontrollfahrten fanden innerhalb des zweiwöchigen Testzeitraums jeweils an zwei Tagen pro Teststrecke statt.

Der Praxistest erfolgte in der Zeit vom 12.09.2006 bis zum 25.09.2006. Aufgrund technischer Probleme konnten die videobasierten Fahrtzeitmessungen auf zwei Teststrecken nicht planmäßig durchgeführt werden und mussten deshalb wiederholt werden. Die Wiederholungsmessungen und die parallel dazu durchgeführten Kontrollfahrten fanden Ende Oktober 2006 statt. Für die Zeiträume der Wiederholungsmessungen liegen sowohl die Verkehrskenngrößen als auch die Ergebnisse der Reisezeitberechnungen der auf den Teststrecken im Einsatz befindlichen Berechnungsverfahren vor.

Die Ergebnisse der Reisezeitberechnungen wurden im Fall der Verfahren ddg, OLSIM und MAVES durch die jeweiligen Entwickler sowie beim Verfahren ASDA/FOTO durch die Verkehrszentrale Hessen (A 5) und die Firma PTV (A 42) zur Verfügung gestellt. Die Reisezeitberechnungen mit dem Verfahren EINFACHER ANSATZ erfolgten durch den Forschungsnehmer selbst.

Die Bewertung der Genauigkeit der Verfahren erfolgt durch einen Vergleich der auf den Kontrollstrecken gemessenen Fahrtzeiten und den zeitlich zugehörigen Reisezeitberechnungen der ausgewählten Verfahren (siehe Kapitel 3.5). In einem zweiten Arbeitsschritt (siehe Kapitel 3.6) wurden

Verfahren/Einsatzgebiet	Eingangsgrößen		Ergebnisse	
			direkt	abgeleitete
<b>OLSIM</b> Verkehrsflusssimulation (Zellularautomat) mit minütlichem Abgleich von berechneten und gemessenen Daten in Nordrhein-Westfalen verfügbar	Netzdaten	fahstreifenscharfe Abbildung des Autobahnnetzes in NRW in Zelleinheiten von 1,5 m Länge	Die Ergebnisse werden derzeit auf der Internetseite ( <a href="http://www.autobahn.nrw.de">www.autobahn.nrw.de</a> ) mit einer minütlichen Aktualisierung veröffentlicht. Dargestellt ist u. a. die Verkehrslage und die Fahrtzeit für ausgewählte Netzmaschen.	
	Verkehrsdaten	Standorte der Messstellen Verkehrskenngrößen stationärer Messstellen ( $q_{PKW}$ , $q_{LKW}$ , $v_{PKW}$ , $v_{LKW}$ ) historische Ganglinien		
<b>ddg</b> komplexes Verkehrsmodell für BAB mit differenzierten Lösungsansätzen in Abhängigkeit unterschiedlicher Verkehrszustände bundesweit verfügbar	Netzdaten	bundesweit, fahstreifenscharf, 200-m-Abschnitte, differenziert Strecken- und Knotenpunktab-schnitte, zulässige Höchstgeschwindigkeit,	Die Ergebnisse werden kundenspezifisch (Service Provider) aufbereitet, z. B. als Umleitungsempfehlungen für Navigationsgeräte (TMCpro). Dieser Dienst ist gebührenpflichtig. Die Gebührenpflicht wird mit einer an das Navigationsgerät gekoppelten, einmaligen Lizenzgebühr abgegolten.	
	Verkehrsdaten	Standorte der Messstellen Verkehrskenngrößen stationärer Messstellen ( $q_{PKW}$ , $q_{LKW}$ , $v_{PKW}$ , $v_{LKW}$ ), eigenes stationäres Erfassungssystem SES und FCD, Verkehrsmeldungen der Nationalen Meldestellen, historische Ganglinien		
<b>ASDA/FOTO</b> Störfallerkennung auf ausgewählten Strecken in Hessen und Bayern verfügbar	Netzdaten	fahstreifenscharfe Abbildung der Autobahn; Anschlussstellen (Zu- und Abfahrten), Standorte der Messstellen	Die Ergebnisse der Berechnungen auf Abschnitten der A 3 und A 5 in Hessen werden derzeit auf der Internetseite ( <a href="http://www.vzhessen.de">www.vzhessen.de</a> ) mit einer minütlichen Aktualisierung veröffentlicht. Angegeben werden die Fahrtzeitverlängerungen (Verlustzeiten). Verlustzeiten größer fünf Minuten werden an Entscheidungspunkten im Netz über dWiSta angezeigt, ohne eine Routenempfehlung zu geben.	
	Verkehrsdaten	Verkehrskenngrößen stationärer Messstellen ( $q_{PKW}$ , $q_{LKW}$ , $v_{PKW}$ , $v_{LKW}$ ) topologische und linienführungsbedingte Einflüsse auf die Fahrtzeiten werden nicht berücksichtigt		
<b>Verfahren EINFACHER ANSATZ</b> direkte Verwendung der lokal gemessenen Geschwindigkeiten nicht im Einsatz	Netzdaten	Länge der Netzabschnitte; Standorte der Messstellen	Das Verfahren ist nur im Rahmen des Forschungsvorhabens auf den Teststrecken angewendet worden.	
	Verkehrsdaten	Verkehrskenngrößen stationärer Messstellen ( $q_{PKW}$ , $q_{LKW}$ , $v_{PKW}$ , $v_{LKW}$ ) topologische und linienführungsbedingte Einflüsse auf die Fahrtzeiten werden nicht berücksichtigt		

Tab. 3.1: Eingangsgrößen und Ergebnisse der Verfahren

Verfahren/Einsatzgebiet	Eingangsgrößen		Ergebnisse	
			direkt	abgeleitete
<b>MAVE-S</b> Wiedererkennung von Fahrzeugen anhand von Verstimmungskurven auf ausgewählten Strecken in Baden-Württemberg und der Schweiz verfügbar	Netzdaten	Länge der Netzabschnitte; Standorte der Messstellen	Die Ergebnisse der Fahrtzeitmessungen auf der A 8 fließen in den Steuerungsalgorithmus der Streckenbeeinflussung ein. Eine Veröffentlichung der gemessenen Fahrtzeiten erfolgt nicht.	
	Verkehrsdaten	Verkehrskenngrößen stationärer Messstellen ( $q_{PKW}$ , $q_{LKW}$ , $v_{PKW}$ , $v_{LKW}$ ) Verstimmungskurven zur Fahrzeugidentifikation		
	Sonstiges	topologische und linienführungsbedingte Einflüsse sind in den gemessenen Fahrtzeiten enthalten Verfahren setzt voraus, dass etwa 50 % der einfahrenden Fahrzeuge auch den zweiten Messquerschnitt passieren	Fahrtzeiten auf dem Messabschnitt Verkehrsdichte auf dem Messabschnitt	Fahrtzeiten auf Netzabschnitten Störfallerkennung durch Vergleich der gemessenen Fahrtzeiten und hinterlegten Normfahrtzeiten

Tab. 3.1: Eingangsgrößen und Ergebnisse der Verfahren – Fortsetzung –

aus den Messquerschnittsdaten Zeitbereiche mit Störungen im Verkehrsablauf herausgefiltert. Für diese Zeitbereiche wurde überprüft, welche Fahrtzeiten die Verfahren berechnen.

### 3.2.2 Gewählte Teststrecken

Wesentliches Kriterium für die Auswahl der Teststrecken ist, dass mindestens zwei der ausgewählten Berechnungsverfahren darauf im Einsatz sind. Nach Möglichkeit sollten die Teststrecken hoch belastet sein, weil Verkehrsstörungen bei diesen Strecken eher auftreten als bei Strecken mit niedriger Verkehrsbelastung.

In Tabelle 3.2 sind die Teststrecken und die auf den jeweiligen Strecken verfügbaren Verfahren zur Reisezeitberechnung zusammengestellt. Nähere Details zu den Teststrecken, z. B. Anschlussstellenabstände, Lage und Anzahl von Messquerschnitten usw., werden in den nachfolgenden Kapiteln dargestellt.

In Tabelle 3.2 sind Verfahren, die auf den Teststrecken standardmäßig im Einsatz sind, mit dem Begriff „Regelbetrieb“ gekennzeichnet. Die „mit untersuchten“ Verfahren wurden speziell für dieses Forschungsvorhaben in das Testprogramm aufgenommen. Sie werden auf den Teststrecken sonst nicht angewendet.

Die Reisezeitberechnungen der im Regelbetrieb laufenden Verfahren erfolgten während des „normalen“ Betriebs durch den Hersteller beziehungsweise durch den Anlagenbetreiber. Die Ergebnisse wurden dem Forschungsnehmer während oder nach Abschluss des Testzeitraums übergeben.

Auf der Teststrecke A 42 wurde auf einem Teilabschnitt speziell für dieses Forschungsvorhaben das System MAVE-S installiert. Um den technischen Aufwand für die beteiligte Firma ave Verkehrs- und Informationstechnik GmbH zu minimieren, wurde auf eine Datenübertragung zwischen beiden Messquerschnitten vor Ort verzichtet. Damit war auch keine Online-Ermittlung von Fahrtzeiten möglich. Die Rohdaten wurden durch die installierte Hardware vor Ort gespeichert und nach Ablauf des Testzeitraums durch die Firma ave Verkehrs- und Informationstechnik GmbH ausgelesen. Die Fahrtzeiten wurden anschließend im „Labor“ der Firma berechnet. Auf der A 42 wurden dem Verfahren ASDA/FOTO die notwendigen Eingangsdaten (fahrstreifenbezogene Verkehrsstärke und Geschwindigkeitsangaben) nach Vorlage der Verkehrskenndaten der stationären Messquerschnitte, das heißt nach Ablauf des Testzeitraums, übergeben.

Um den Auswerteaufwand für die beteiligten Firmen, deren Verfahren nicht im Regelbetrieb laufen und die ihre Technik/Verfahren kostenlos für dieses Forschungsvorhaben zur Verfügung stellten, im Rahmen zu halten, wurde auf eine durchgängige Auswertung des zweiwöchigen Testzeitraums verzichtet. Anstelle dessen wurden, neben den Zeiträumen der Kontrollmessungen, vom Forschungsnehmer interessante Zeitbereiche, z. B. Zeiten mit Verkehrsstörungen, für die Auswertung vorgegeben.

In keinem Fall war den beteiligten Firmen der Zeitpunkt der Kontrollfahrten und -messungen bekannt.



Die mittleren Abstände zwischen den Sensoren liegen bei etwa 4,3 km.

#### Kontrollstrecke – Kamerastandorte

Die 6,929 km lange Kontrollstrecke liegt zu überwiegenden Teilen im Abschnitt Bad Homburger Kreuz – Nordwestkreuz Frankfurt. Lediglich das 420 m lange Reststück fällt in den Folgeabschnitt.

#### Schematische Darstellung der Teststrecke A 5

Die Teststrecke, mit ihren Knotenpunkten, den stationären Messstellen sowie den Kamerastandorten ist schematisch in Bild 3.4 dargestellt.

### 3.2.4 Teststrecke A 8

#### Lage und Anschlussstellen

Die 38 km lange Teststrecke auf der BAB A 8 liegt westlich von Ulm und umfasst den Abschnitt von der Anschlussstelle Hohenstadt bis zum Kreuz Ulm/Elchingen (siehe Bild 3.2). Innerhalb der Teststrecke gibt es die Anschlussstellen Merklingen, Ulm-West, Ulm-Ost und Oberelchingen. Es wird die Fahrtrichtung Osten (München) betrachtet. Die Strecke ist durchgängig zweistreifig befahrbar.

#### Verkehrsstärken

Die Verkehrsstärken auf der A 8 im Abschnitt zwischen der AS Hohenstadt und dem AK Ulm/Elchingen liegen zwischen 20.000 Kfz/24h und knapp 45.000 Kfz/24h. Am stärksten belastet ist der Abschnitt zwischen der AS Merklingen und der AS Ulm-West. Die Spitzenstundenbelastungen betragen bis zu 3.300 Kfz/h. Die Lkw-Anteile liegen, bezogen auf den täglichen Verkehr, bei etwa 20 %. Etwas geringer belastet sind die sich westlich und östlich anschließenden Abschnitte.

#### Relevante stationäre Messstellen

Die Teststrecke ist durch eine relativ dichte Folge von Messquerschnitten gekennzeichnet. Deren Abstand schwankt zwischen 0,8 und 2,7 km und liegt im Mittel bei 1,5 km. Insgesamt sind im Zuge der Teststrecken 25 stationäre Messquerschnitte vorhanden, die den Verkehr auf den durchgehenden Fahrstreifen in Fahrtrichtung München erfassen.

Die Messdaten beinhalten, wie auch auf der Kontrollstrecke A 5, den Messzeitpunkt, die fahrstreif-



Bild 3.2: Lage der Teststrecke A 8

fenbezogenen Verkehrsstärken ( $q_{Kfz}$  und  $q_{Lkw}$ ) sowie die Pkw- und Lkw-Geschwindigkeiten ( $v_{Kfz}$  und  $v_{Lkw}$ ). Sie liegen als aggregierte Werte für das 1-Minutenintervall vor.

Der Verkehr auf der Teststrecke wird durch eine Streckenbeeinflussungsanlage (SBA) mit insgesamt 20 Anzeigequerschnitten gesteuert. Jeweils ein weiterer Anzeigequerschnitt befindet sich östlich und westlich der Teststrecke. Der Steuerungsalgorithmus der SBA nutzt u. a. die Daten der oben genannten stationären Messstellen.

Auf der Teststrecke ist zusätzlich das System MAVE-S zur Messung von Fahrtzeiten installiert. Dieses System nutzt die an den stationären Messstellen aufgezeichneten Verstimmungskurven der Induktivschleifen. Allerdings werden mehrere Messquerschnitte der stationären Erfassung für die Reisezeitmessungen zu längeren Abschnitten zusammengefasst. Deren Geltungsbereiche liegen zwischen 1,9 km und 6,3 km (siehe Bild 3.5).

Neben den Messstellen der baden-württembergischen Straßenbauverwaltung gibt es acht Sensoren des ddg-eigenen Erfassungssystems (SES). Die Abstände der Sensoren sind unterschiedlich lang und reichen von 2 km bis zu 7,6 km. Der mittlere Abstand zwischen zwei Sensoren beträgt etwa 4,8 km.

#### Kontrollstrecke – Kamerastandorte

Die 7,675 km lange Kontrollstrecke liegt vollständig zwischen den Anschlussstellen Merklingen und Ulm-West. Innerhalb der Kontrollstrecke liegen die Messquerschnitte M8, M9, M10 und M11 der Streckenbeeinflussungsanlage. Der Messquerschnitt M12 liegt ca. 500 m östlich der Kontrollstrecke. Der mittlere Abstand zwischen den Messquerschnitten auf der Kontrollstrecke beträgt rund 2

km und ist damit um rund ein Drittel größer als der mittlere Abstand auf der Teststrecke. Innerhalb der Kontrollstrecke befindet sich nur ein Sensor für das Verfahren ddg.

#### Schematische Darstellung der Teststrecke A 8

Die Teststrecke, mit ihren Knotenpunkten und den stationären Messeinrichtungen sowie den Kamerastandorten ist schematisch in Bild 3.5 dargestellt.

### 3.2.5 Teststrecke A 42

#### Vorbemerkung

Zum Zeitpunkt der Auswahl und Abstimmung der Teststrecken gab es bei dem Verfahren OLSIM die Einschränkung, dass Reisezeiten nur für vordefinierte Autobahnabschnitte verfügbar waren. Sie reichen von einem Autobahnkreuz beziehungsweise Autobahndreieck zum nachfolgenden. Bei langen Autobahnabschnitten besteht die Gefahr, dass Störungen im Verkehrsfluss, die mit einer Fahrtzeitverlängerung verbunden sind, durch höhere Geschwindigkeiten auf den folgenden Abschnitten teilweise oder ganz kompensiert werden. Um diesen unerwünschten Effekt zu minimieren, wurde ein möglichst kurzer Autobahnabschnitt ausgewählt.

Im Laufe der Bearbeitung des Forschungsvorhabens entfiel diese Einschränkung. Allerdings war ein Wechsel auf eine höher belastete Teststrecke nicht mehr möglich, weil für den Test des Verfahrens MAVE-S die vorhandenen Streckenstationen hinsichtlich der Hardware umgerüstet worden waren.

Darüber hinaus waren auch für den Test des Verfahrens ASDA/FOTO auf dieser Strecke entsprechende Vorarbeiten notwendig, die zum Zeitpunkt des Wegfalls der Einschränkung bereits abgeschlossen waren.



Bild 3.3: Lage der Teststrecke A 42

#### Lage und Anschlussstellen

Die rund 12 km lange Teststrecke A 42 liegt westlich von Dortmund und umfasst den Abschnitt vom Kreuz Herne bis zum Kreuz Castrop-Rauxel-Ost. Innerhalb der Teststrecke gibt es fünf Anschlussstellen. Der mittlere Anschlussstellenabstand beträgt weniger als 2 km. Die Strecke ist durchgängig zweistreifig befahrbar und über weite Strecken mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h versehen.

#### Verkehrsstärken

Auf der Teststrecke A 42 liegen die Verkehrsstärken auf der Richtungsfahrbahn Ost an Werktagen zwischen 35.000 Kfz/24h und knapp 45.000 Kfz/24h. Der Lkw-Anteil beträgt etwa 15 %. Die Verkehrsstärken nehmen nach Osten hin kontinuierlich ab. Die Spitzenstundenbelastungen liegen bei etwa 2.500 Kfz/24h.

#### Relevante stationäre Messstellen

In jedem Netzabschnitt (von Anschlussstelle zu Anschlussstelle) befindet sich etwa mittig eine stationäre Messstelle. Der Abstand der Messeinrichtungen schwankt zwischen 0,9 km und 3,1 km. Er liegt im Mittel bei 1,5 km. Insgesamt sind im Zuge der Teststrecken sechs Messquerschnitte vorhanden, die den Verkehr auf den durchgehenden Fahrstreifen erfassen.

Die Messdaten umfassen, wie auch auf den Kontrollstrecken A 5 und A 8, den Messzeitpunkt, die fahrestreifenbezogenen Verkehrsstärken ( $q_{Kfz}$  und  $q_{Lkw}$ ) sowie die Pkw- und Lkw-Geschwindigkeiten ( $v_{Kfz}$  und  $v_{Lkw}$ ). Sie liegen als aggregierte Werte für das 1-Minutenintervall vor.

Neben den stationären Messstellen gibt es vier Sensoren des ddg-eigenen Erfassungssystems (SES). Die Abstände der Sensoren sind unterschiedlich groß und reichen von 2 km bis zu 5,7 km. Der mittlere Abstand zwischen zwei Sensoren liegt bei etwa 2,7 km.

#### Kontrollstrecke – Kamerastandorte

Die 1.912 m lange Kontrollstrecke erstreckt sich über zwei Netzabschnitte. Innerhalb der Kontrollstrecke befindet sich die Anschlussstelle Castrop-Rauxel.

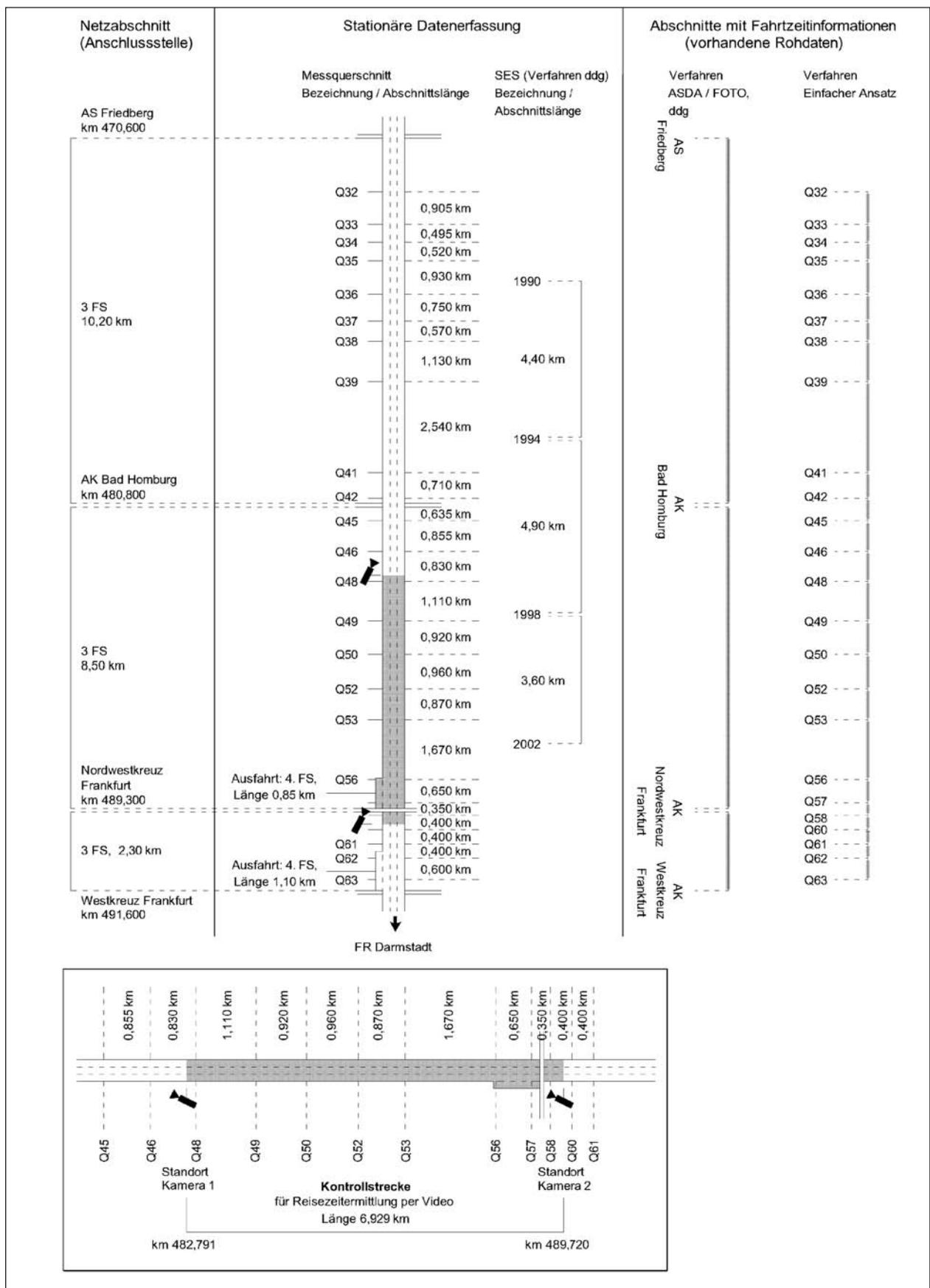


Bild 3.4: Schematische Darstellung der messtechnischen Einrichtungen auf der Teststrecke A 5

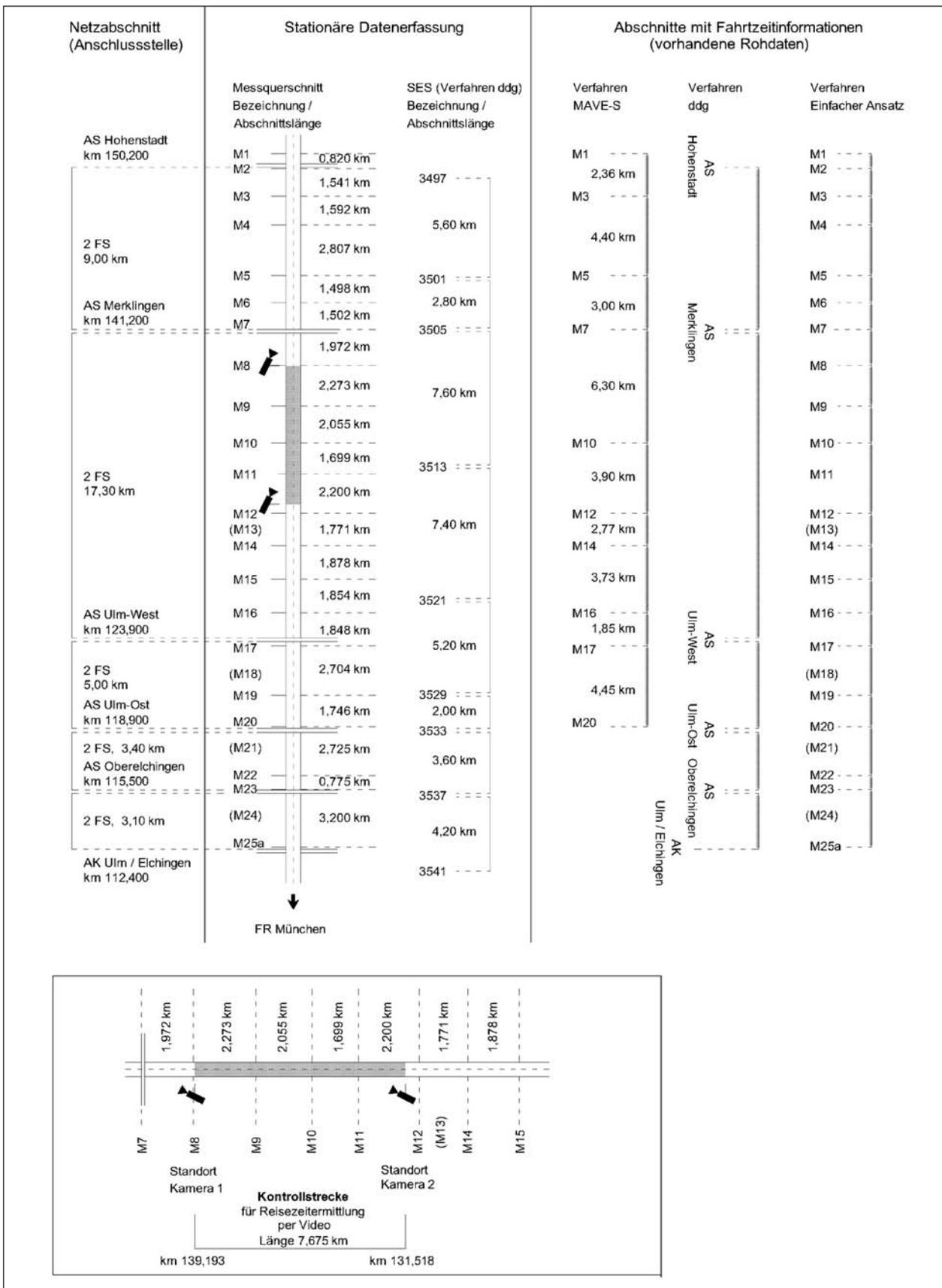


Bild 3.5: Schematische Darstellung der messtechnischen Einrichtungen auf der Teststrecke A 8

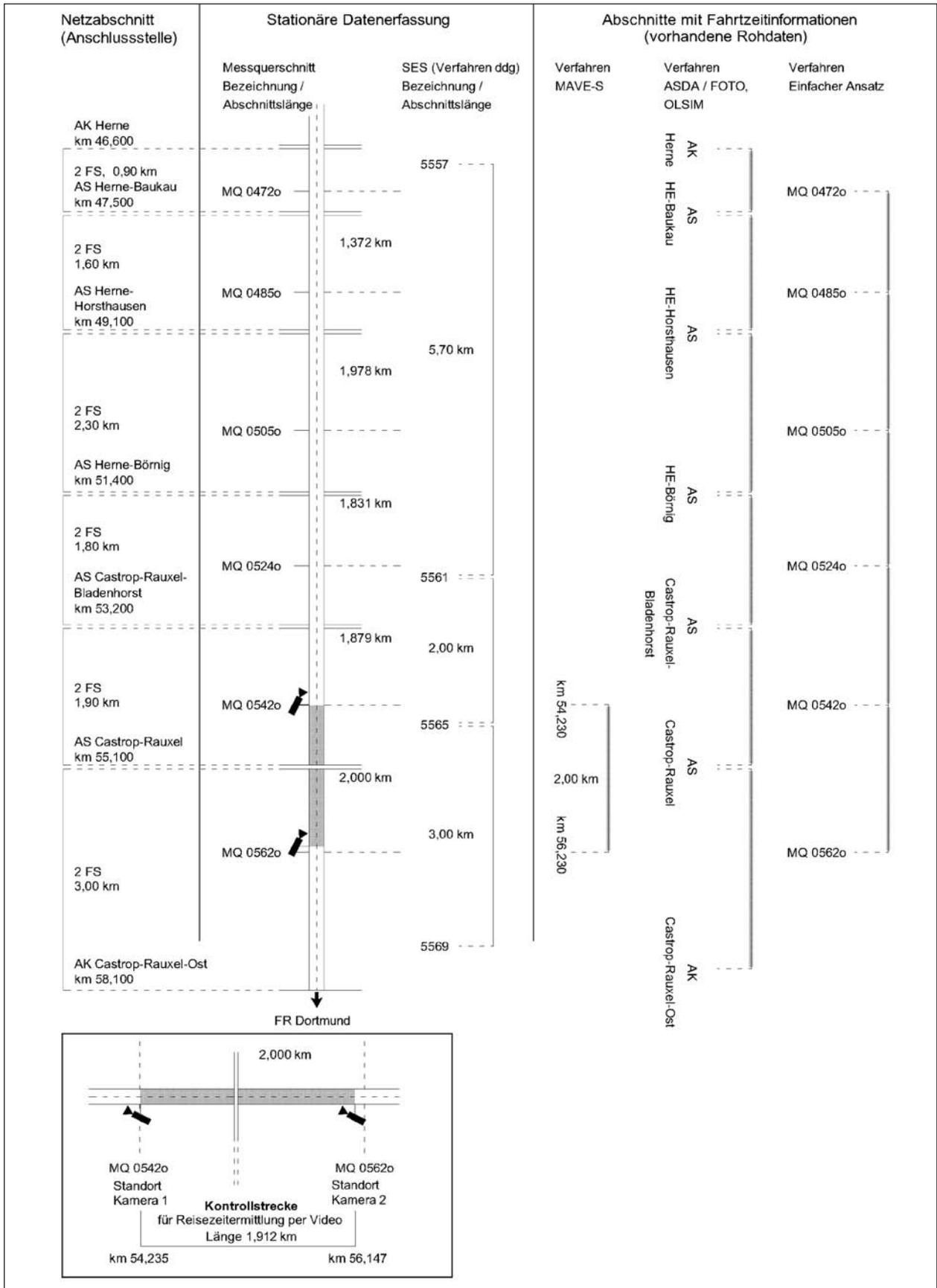


Bild 3.6: Schematische Darstellung der messtechnischen Einrichtungen auf der Teststrecke A 42

Mit 865 m ist der westliche Abschnitt der Kontrollstrecke etwas kürzer als der östliche, der 1.047 m lang ist.

Der Messquerschnitt A42/0542o liegt etwa am westlichen Beginn der Teststrecke, der Messquerschnitt A42/0562o 100 m östlich vom Kontrollstreckenende. Innerhalb der Kontrollstrecke befindet sich östlich der Anschlussstelle ein Sensor für das Verfahren ddg.

Schematische Darstellung der Teststrecke A 42

Die Teststrecke, mit ihren Knotenpunkten und den stationären Messeinrichtungen sowie den Kame-rastandorten, ist schematisch in Bild 3.6 dargestellt.

### 3.3 Kontrollerhebungen mittels Kennzeichenerfassung per Video

#### 3.3.1 Methodik

Eingesetzte Technik

Die Fahrtzeiten auf den Kontrollstrecken wurden mit einem von der Technischen Universität München, Lehrstuhl für Verkehrstechnik, entwickelten System gemessen. Es basiert auf der in Kapitel 2.3.3 beschriebenen Funktionsweise und ist durch einen zusätzlichen Radardetektor in der Lage, zwischen Pkw und Lkw zu differenzieren. Datensätze von Lkw werden besonders markiert. Bei der Auswertung wurden nur Datensätze von Pkw berücksichtigt.

Die Kameras wurden auf Brücken positioniert und erfassten bei zweistreifigen Autobahnen den Überholfahrstreifen, bei dreistreifigen Autobahnen den mittleren Fahrstreifen. Eine Erfassung aller Fahrstreifen war nicht möglich, weil die dafür erforderlichen Kameras und Auswerteeinheiten nicht verfügbar waren.

Die von den einbezogenen Verfahren berechneten Fahrtzeiten gelten dagegen immer als mittlere Fahrzeit der Pkw für den Gesamtquerschnitt. Da die mittels Video bestimmten Fahrtzeiten nur für einen Fahrstreifen gelten, besteht die Notwendigkeit, die Video-Fahrtzeiten auf eine mittlere Fahrzeit für den Gesamtquerschnitt hochzurechnen. Dabei wird zwischen zwei- und dreistreifige Autobahnen unterschieden.

Hochrechnen der Fahrtzeiten auf zweistreifigen Autobahnen

Die an den stationären Messstellen erhobenen minütlichen Geschwindigkeiten liegen getrennt für den Haupt- und Überholfahrstreifen vor. Zwischen beiden Geschwindigkeiten wird ein funktionaler Zusammenhang abgeleitet, der anschließend auf die Kontrollmessungen übertragen wird. Als am besten geeignet erwies sich ein polynomischer Ansatz 1. Grades.

Es werden nur Geschwindigkeiten der stationären Messquerschnitte berücksichtigt, die in der Kontrollstrecke der Videomessung liegen beziehungsweise an sie angrenzen.

$$v_{FS-1} = a \cdot v_{FS-2}^b$$

mit:

$v_{FS-1}$  = Pkw-Geschwindigkeit auf dem Hauptfahrstreifen [km/h]

$v_{FS-2}$  = Pkw-Geschwindigkeit auf dem Überholfahrstreifen [km/h]

a, b = streckenspezifische Faktoren [-] (als Ergebnis der Regressionsrechnung)

Die Faktoren a und b werden für die Kontrollstrecken A 8 und A 42 in den Kapiteln 3.3.3 und 3.3.4 bestimmt. Die mittlere minütliche Pkw-Geschwindigkeit auf der Kontrollstrecke ergibt sich als harmonisches Mittel der gemessenen Geschwindigkeit auf dem Überholfahrstreifen und der daraus mit o.g. Ansatz abgeleiteten Geschwindigkeit für den Hauptfahrstreifen. Die jeweiligen Pkw-Verkehrsstärken auf dem Haupt- und Überholfahrstreifen fließen als Gewichtung ein. Über die bekannte Distanz zwischen beiden Kame-rastandorten lässt sich dann die mittlere Pkw-Fahrtzeit auf der Kontrollstrecke berechnen.

Hochrechnen der Fahrtzeiten auf dreistreifige Autobahn

Die Auswertung der Daten der stationären Messquerschnitte auf der A 5 (Geschwindigkeiten auf den drei durchgehenden Fahrstreifen) hat gezeigt, dass die Pkw-Geschwindigkeiten auf dem mittleren Fahrstreifen etwa den mittleren Pkw-Geschwindigkeiten für den Gesamt-Querschnitt entsprechen. Auf die Ermittlung eines funktionalen Zusammenhangs zwischen den fahrstreifenbezogenen Geschwindigkeiten (analog der Vorgehensweise bei den beiden zweistreifigen Autobahnen) konnte des-

MQ	Gewählter Zeitbereich	$v_{FS-2}^{1)}$	V-Mittel <sup>2)</sup>	Diff_Mittel <sup>3)</sup>	Diff_St abw. <sup>4)</sup>
		[km/h]	[km/h]	[km/h]	
QS 49	26.10.2006 6:00 bis 19:00	112,1	111,1	2,0	1,6
	27.10.2006 6:00 bis 19:00	112,7	111,6	1,9	1,5
QS 50	26.10.2006 6:00 bis 19:00	115,7	116,5	2,8	2,2
	27.10.2006 6:00 bis 19:00	116,3	117,3	2,4	2,0

1) Mittlere v-Pkw auf dem mittleren Fahrstreifen  
2) Mittlere Pkw-Geschwindigkeit aller drei Fahrstreifen  
3) Mittlere, absolute Differenz der minütlichen Vergleiche v-FS2 – V-Mittel  
4) Standardabweichung zu 3)

**Tab. 3.3:** Pkw-Geschwindigkeiten an den stationären Messquerschnitten, Kontrollstrecke A 5

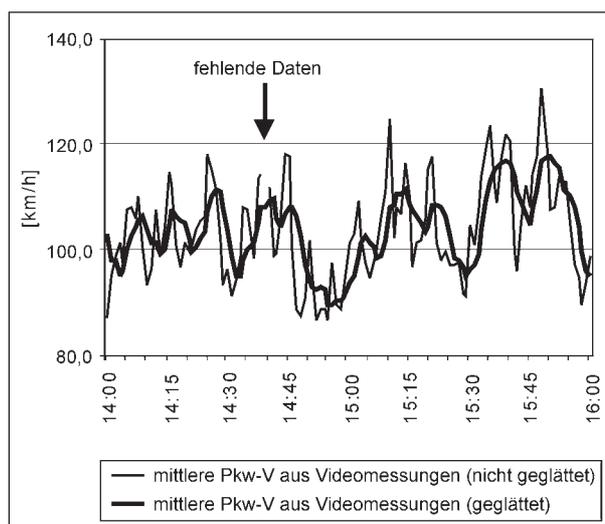
halb verzichtet werden, weil bei der Videomessung der mittlere Fahrstreifen beobachtet wurde.

Am Beispiel der Messquerschnitte A5/Q49GS und A5/Q50GS ist dieser Zusammenhang beispielhaft in Tabelle 3.3 dargestellt.

Die mittleren absoluten Unterschiede zwischen den Pkw-Geschwindigkeiten auf dem mittleren Fahrstreifen und für den Gesamtquerschnitt liegen im Zeitraum der Videomessungen zwischen 2 km/h und 3 km/h. Bei einer Fahrgeschwindigkeit von 100 km/h und einer 10 km langen Strecke verlängert beziehungsweise verkürzt sich die Fahrtzeit, bei einer Geschwindigkeitsänderung um 2 km/h, um rund 7 sec. Mit zunehmender Ausgangsgeschwindigkeit fällt der Unterschied noch kleiner aus, mit abnehmender Ausgangsgeschwindigkeit steigt er etwas an. Um eine Fahrtzeitverlängerung von einer Minute auf der Normstrecke zu erhalten, muss bei einer Bezugsgeschwindigkeit von 100 km/h die Reisegeschwindigkeit um etwa 20 km/h fallen oder steigen.

Glättung der gemessenen Fahrtzeiten/Geschwindigkeiten

Die mit Hilfe der Videoerfassung gemessenen Fahrtzeiten und die daraus berechneten minütlichen Pkw-Geschwindigkeiten weisen, auch bei konstanten Verkehrsverhältnissen und innerhalb kleiner Zeitabstände, eine relativ hohe Schwankungsbreite auf. Dabei treten, wie in Bild 3.7 beispielhaft dargestellt, Geschwindigkeitssprünge von mehr als 20 km/h auf.



**Bild 3.7:** Vergleich geglätteter und nicht geglätteter Geschwindigkeitswerte (Beispiel A 8)

Die relativ großen Geschwindigkeitssprünge erschweren und verzerren den Vergleich mit den berechneten Reisezeiten beziehungsweise Geschwindigkeiten. Es ist deshalb zweckmäßig, die minütlich vorliegenden Ergebnisse der Videomessung zu glätten. Dies gilt auch deshalb, weil die Ergebnisse mehrerer Berechnungsverfahren (z. B. die Verfahren ddg, OLSIM) geglättet und/oder durch maximale Geschwindigkeiten (Referenzgeschwindigkeiten) nach oben begrenzt sind. Als Glättungsansatz wird der „gleitende Mittelwert“ für ein 5-Minutenintervall gewählt.

$$v_{t+5, g} = \frac{\sum_{i=1}^5 v_{t+i}}{5}$$

mit:

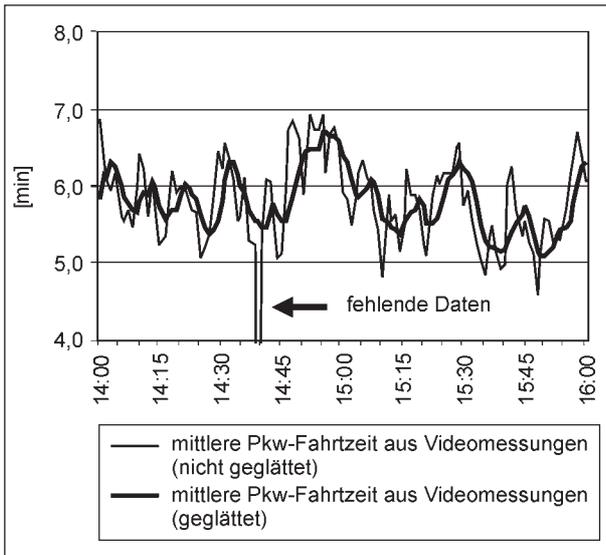
$v_{t+5, g}$  = geglättete mittlere Pkw-Geschwindigkeit zum Zeitpunkt  $t + 5$  [km/h]

$v_{t+i}$  = nicht geglättete, mittlere Pkw-Geschwindigkeit zum Zeitpunkt  $t + i$  [km/h]

Bild 3.7 zeigt am Beispiel der Kontrollstrecke A 8 (15.09.2006) den Verlauf der geglätteten und nicht geglätteten Geschwindigkeiten für einen zweistündigen Zeitraum.

Normierung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens stehen nicht die Geschwindigkeiten, sondern Fahrtzeiten im Mittelpunkt der Betrachtungen. Im Folgenden wird deshalb vorwiegend auf sie Bezug genommen. Des Weiteren werden, da die Kontroll-



**Bild 3.8:** Vergleich geglätteter und nicht geglätteter Fahrtzeiten (Beispiel A 8)

strecken alle unterschiedlich lang sind, die gemessenen und berechneten Fahrtzeiten auf eine normierte Streckenlänge von 10 km hochgerechnet. Damit wird auch ein leichter und direkter Vergleich der Ergebnisse auf den drei Autobahnen untereinander möglich.

$$F_{\text{Norm}} = F_{\text{KS}} \cdot \frac{\text{Normstreckenlänge}}{\text{Kontrollstreckenlänge}}$$

mit:

$$F_{\text{Norm}} = \text{Fahrtzeit auf Normstrecke [min]}$$

$$F_{\text{KS}} = \text{Fahrtzeit auf Kontrollstrecke [min]}$$

In Bild 3.8 sind beispielhaft für den in Bild 3.7 verwendeten Abschnitt der A 8 die zugehörige Fahrtzeiten auf der 10 km langen Normstrecke dargestellt.

### 3.3.2 Ableitung der Pkw-Reisegeschwindigkeit aus den Kontrollmessungen, Kontrollstrecke A 5

Auf der Kontrollstrecke auf der A 5 wurden an beiden Erhebungstagen knapp 8.000 Pkw-Fahrtzeiten auf dem mittleren Fahrstreifen gemessen. In der weiteren Untersuchung wurden diese als mittlere Pkw-Fahrtzeit des Gesamtquerschnitts definiert. Die genaue Anzahl und Verteilung der Messungen auf beide Erhebungstage sowie die daraus abgeleiteten Geschwindigkeiten sind in Tabelle 3.4 zusammengefasst.

	Messtag	
	26.10.2006	27.10.2006
Messzeitraum	12:35 – 19:23	6:06 – 18:43
Anzahl Videomessungen	2.441	5.439
Fahrtzeit-Maximum [min]	4,3	4,3
Fahrtzeit-Mittel [min]	3,7	3,6
Fahrtzeit-Minimum [min]	2,8	3,1
V-Minimum [km/h]	97,4	96,1
V-Mittel [km/h]	112,8	116,4
V-Maximum [km/h]	147,9	136,1

**Tab. 3.4:** Fahrtzeitmessungen per Kennzeichenerfassung auf der Kontrollstrecke A 5

### 3.3.3 Ableitung der Pkw-Reisegeschwindigkeit aus den Kontrollmessungen, Kontrollstrecke A 8

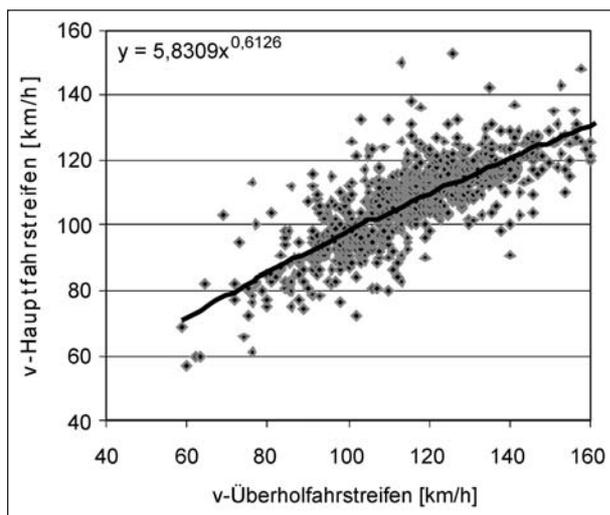
Die Messquerschnitte M8, M9, M10 und M11 liegen innerhalb der Kontrollstrecke, wobei für den Messquerschnitt M8 keine Messwerte vorlagen. Den funktionalen Zusammenhang zwischen den Geschwindigkeiten auf dem Überholfahrstreifen ( $v_{\text{FS-1}}$ ) und auf dem Hauptfahrstreifen ( $v_{\text{FS-2}}$ ) zeigt beispielhaft Bild 3.9 für den Messquerschnitt M9. Die analysierten Geschwindigkeitspaare stammen aus dem Zeitraum, in dem auch die Videomessungen stattgefunden haben.

Damit liegen sechs Messreihen vor. Die zugehörige Funktionen sind in Tabelle 3.5 zusammengestellt.

In einem Folgeschritt wurden für jeden Messquerschnitt und für den Geschwindigkeitsbereich 60 km/h bis 140 km/h unter Verwendung der gefundenen Funktionen die Geschwindigkeiten auf dem Hauptfahrstreifen berechnet. Unter Berücksichtigung der Abstände zwischen den einzelnen Messquerschnitten wurde die mittlere Geschwindigkeit auf dem Hauptfahrstreifen der Kontrollstrecke ermittelt. Die Einzelwerte der Messquerschnitte und der Mittelwert für die Hauptfahrstreifen der Kontrollstrecken sind in Tabelle 3.6 dargestellt.

Zur Ableitung der mittleren Pkw-Geschwindigkeit des Gesamtquerschnitts anhand der Daten der Videomessungen wurde in einem weiteren Schritt der funktionale Zusammenhang zwischen den Geschwindigkeiten des Überholfahrstreifens und des Hauptfahrstreifens auf den Kontrollstrecken mittels einer Regressionsrechnung bestimmt. Er lautet

$$v_{\text{FS-1}} = 4,7711 \cdot v_{\text{FS-2}}^{0,6559}$$



**Bild 3.9:** Zusammenhang v-Pkw-Überholfahrstreifen – v-Pkw-Hauptfahrstreifen, MQ M9, 14.09.2006

Tag	MQ	v-Pkw-Hauptfahrstreifen ( $v_{FS-1}$ )
14.09.2006	9	$5,8309 \times v_{FS-2}^{0,6126}$
	10	$6,3532 \times v_{FS-2}^{0,5994}$
	11	$6,2803 \times v_{FS-2}^{0,5998}$
15.09.2006	9	$4,0529 \times v_{FS-2}^{0,6872}$
	10	$3,2766 \times v_{FS-2}^{0,7359}$
	11	$3,3703 \times v_{FS-2}^{0,7279}$

**Tab. 3.5:** Zusammenhang Geschwindigkeit auf dem Überhol- und Hauptfahrstreifen

$v_{FS-2}$	Berechnete $v_{FS-1}$ am Messquerschnitt						$v_{FS-1}$ für Kontrollstrecke
	14.09.2006			15.09.2006			
	9	10	11	9	10	11	
	[km/h]						
60	72	74	73	68	67	66	70
70	79	81	80	75	75	74	77
80	85	88	87	82	82	82	84
90	92	94	93	89	90	89	91
100	98	100	99	96	97	96	98
110	104	106	105	102	104	103	104
120	110	112	111	109	111	110	110
130	115	118	116	115	118	117	116
140	120	123	122	121	124	123	122

**Tab. 3.6:** Zusammenhang Geschwindigkeit auf dem Überhol- und Hauptfahrstreifen

Die genaue Anzahl und Verteilung der Messungen auf beide Erhebungstage sowie die daraus abgeleiteten Fahrtzeiten und Geschwindigkeiten sind in Tabelle 3.7 zusammengefasst.

	Messtag	
	14.09.2006	15.09.2006
Messzeitraum	13:02 – 19:21	6:50 – 19:21
Anzahl Videomessungen	2.961	4.651
Fahrtzeit-Maximum [min]	5,0	7,7
Fahrtzeit-Mittel [min]	4,0	4,4
Fahrtzeit-Minimum [min]	2,7	3,1
V-Minimum [km/h]	92,5	59,7
V-Mittel [km/h]	115,8	104,6
V-Maximum [km/h]	168,5	147,9

**Tab. 3.7:** Fahrtzeitmessungen per Kennzeichenerfassung auf der Kontrollstrecke A 8

Zeitpunkt	Videomessung		$v_{FS-1}^{1)}$	V_Reise Pkw	
	Fahrt-dauer	$v_{FS-2}$		nicht geglättet	geglättet
[-]	[sec]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]
15:01	224	123	112	119	119
15:02	215	129	115	124	123
15:03	198	140	122	133	128
15:04	213	130	116	125	130
15:05	243	114	107	111	123
15:06	230	120	110	117	122
15:07	226	122	112	118	121
15:08	204	135	119	130	120
15:09	195	142	123	135	122
15:10	201	137	121	131	126

1) berechnet über den funktionalen Zusammenhang  $v_{FS-1} = 4,7711 \times v_{FS-2}^{0,6559}$

**Tab. 3.8:** Ableitung der Pkw-Reisegeschwindigkeit aus der Videomessung, A 8

Die mittlere minütliche Pkw-Reisegeschwindigkeit berechnet sich dann als harmonisches Mittel der Geschwindigkeiten auf beiden Fahrstreifen. Die unterschiedlich starke Fahrstreifenbelegung fließt als Gewichtung mit ein (siehe Formel Kapitel 2.2.9). Rund zwei Drittel aller Pkw fahren im Bereich der Teststrecke auf dem linken Fahrstreifen.

Da die gemessenen Geschwindigkeiten relativ stark streuen, werden die Einzelwerte unter Verwendung des gleitenden Mittels (5-Minutenintervall) geglättet. In Tabelle 3.8 sind für 10 Minuten beispielhaft die Einzelwerte von der Videoerfassung bis zur abgeleiteten mittleren Pkw-Reisegeschwindigkeit dargestellt.

### 3.3.4 Ableitung der Pkw-Reisegeschwindigkeit aus den Kontrollmessungen, Kontrollstrecke A 42

Die Hochrechnung der videobasierten Messungen auf die Pkw-Reisegeschwindigkeit erfolgte zunächst analog der Vorgehensweise auf der Kontrollstrecke A 8. Einbezogen wurden die Messquerschnitte MQ 0542o und MQ 0562o, die die Kontrollstrecke im Westen und Osten begrenzen. Die Vorgehensweise erwies sich aber, weil eine Verkehrsstörung zu deutlich unterschiedlichen Geschwindigkeiten an beiden Messquerschnitten führte, als nicht mehr anwendbar.

Während der Reisezeitmessungen trat östlich der AS Castrop-Rauxel ein Stau im Bereich der Kontrollstrecke auf. Dieser Stau behinderte allerdings vor allem den Verkehrsfluss auf dem rechten Fahrstreifen. Er wurde durch Fahrzeuge verursacht, die am AK Castrop-Rauxel-Ost nicht ausreichend schnell nach Süden abfahren konnten.

Da am Messquerschnitt MQ 0542o keine staubedingten, niedrigen Geschwindigkeiten auftraten, spiegelt dessen Geschwindigkeitsfunktion deshalb ein wesentlich höheres Geschwindigkeitsniveau wider. Dies führt bei der Mittelung im unteren Geschwindigkeitssegment zu den zu hohen Geschwindigkeitswerten auf dem Hauptfahrstreifen.

Von daher wurden die Messwerte beider Messtage (20.10.2006, 23.10.2006) und beider Messquerschnitte zusammengefasst. Sie sind in Bild 3.10 als Punkthaufen mit integrierter Regressionskurve dargestellt.

Die zugehörige Regressionsgleichung für den Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit auf dem Überholfahrstreifen und dem Hauptfahrstreifen lautet:

$$v_{FS-1} = 0,3517 \cdot v_{FS-2}^{1,1973}$$

Der hohe Regressionskoeffizient für obige Gleichung beträgt  $R^2 = 0,84$  und stützt die Vorgehensweise.

Die weiteren Arbeitsschritte zur Berechnung der mittleren Pkw-Reisegeschwindigkeit entsprechen denjenigen der Teststrecke A 8. Rund 60 % der Pkw fahren auf der Teststrecke A 42 auf dem Hauptfahrstreifen. Diese starke Belegung steht in direktem Zusammenhang mit der engen Anschlussstellenfolge.

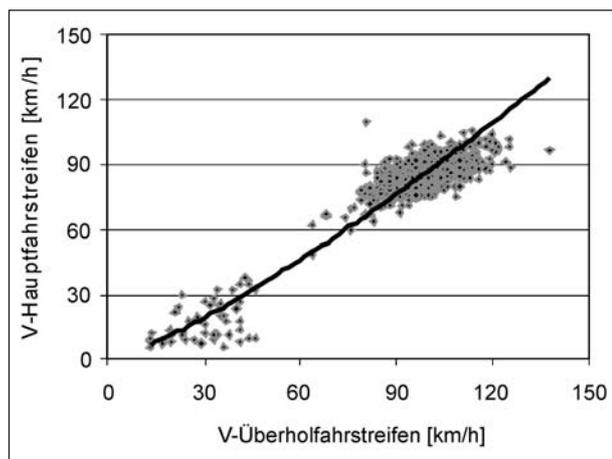


Bild 3.10: Zusammenhang v-Pkw-Überholfahrstreifen und v-Pkw-Hauptfahrstreifen (beide Messtage)

	Messtag	
	20.10.2006	23.10.2006
Messzeitraum	6:07 – 19:05	5:46 – 18:55
Fahrtzeit-Maximum [min]	2.744	3.016
Fahrtzeit-Mittel [min]	1,3	4,7
Fahrtzeit-Minimum [min]	1,1	1,2
V-Minimum [km/h]	0,8	0,7
V-Mittel [km/h]	87,9	24,6
V-Maximum [km/h]	108,7	98,1
Anzahl Videomessungen	143,4	156,4

Tab. 3.9: Fahrtzeitmessungen per Kennzeichenerfassung auf der Kontrollstrecke A 42

Die genaue Anzahl und Verteilung der Messungen auf beide Erhebungstage sowie die daraus abgeleiteten Fahrtzeiten und Geschwindigkeiten sind in Tabelle 3.9 zusammengefasst.

Mit fast 6.000 Einzelmessungen liegt eine gute und aussagekräftige Grundlage für den Vergleich mit den berechneten Reisezeiten vor.

## 3.4 Kontrollfahrten

Die Kontrollfahrten dienen vor allem der Verifizierung und Plausibilisierung der Ergebnisse der Berechnungsverfahren sowie der stichprobenhaften Überprüfung der per Video gemessenen Fahrtzeiten auf der Kontrollstrecke. Sie wurden ferner dafür verwendet, um Bereiche mit gestörten Verkehrsabläufen zu entdecken, um dann gezielt die Ergebnisse der Berechnungsverfahren auf diesem Streckenabschnitt und zu diesem Zeitpunkt zu überprüfen.

Teststrecke	Messtage	Kontrollfahrten	Kontrollzeitraum
A 5	Do, 21.09.06	5	13:00 bis 19:00
	Fr, 22.09.06	15	06:00 bis 19:00
	Do, 26.10.06	11	13:00 bis 19:00
	Fr, 27.10.06	19	06:00 bis 19:00
A 8	Do, 14.09.06	6	13:00 bis 19:00
	Fr, 15.09.06	11	06:00 bis 19:00
A 42	Mo, 18.09.06	9	06:00 bis 19:00
	Di, 19.09.06	9	13:00 bis 19:00
	Fr, 20.10.06	31	06:00 bis 19:00
	Mo, 23.10.06	32	06:00 bis 19:00

Tab. 3.10: Durchgeführte Kontrollfahrten

Die Anzahl der durchgeführten Kontrollfahrten hing von der Länge der Teststrecke (einschließlich der Rückfahrt zum Anfangspunkt) und den jeweiligen Verkehrsstärken ab. Sie variiert deshalb auf den Teststrecken. Bedingt durch die notwendig gewordenen Wiederholungsmessungen im Zuge der Reisezeitenmessung per Video wurden auf der A 5 und A 42 jeweils an vier Tagen Kontrollfahrten durchgeführt (siehe Tabelle 3.10).

Mit Hilfe eines GPS-Trackers (GSPMAP 60 CSx der Firma Garmin) werden in festen Zeitschritten (10 Sekunden) die jeweilige Position (Koordinaten), die momentane Geschwindigkeit und andere Daten aufgezeichnet.

In Bild 3.11 ist der Verlauf einer Kontrollfahrt auf der A 42 grafisch dargestellt. Ab Kilometer 10,0 kommt es im Bereich der AS Castrop-Rauxel zu einer größeren Verkehrsstörung, die sich bis zum AK Castrop-Rauxel erstreckt. Die Geschwindigkeit fällt zeitweise bis auf 0 km/h ab.

Die für die Kontrollstrecken ermittelten Geschwindigkeitsprofile werden durch die Videomessung bestätigt. Dies zeigt beispielhaft das Bild 3.12.

Die Zeitachse in Bild 3.12 ist nicht linear, da die Kurve der Videomessung alle erfassten Fahrzeuge wiedergibt und die Anzahl der Fahrzeuge minütlich schwankt. Die mittleren Fahrtzeitunterschiede zwischen Videomessung und Kontrollfahrt auf der Kontrollstrecke A 42 liegen bei rund 5 sec, auf die 10 km lange Normstrecke bezogen bei knapp 30 sec.

Der in Bild 3.11 ab Kilometer 10,0 erkennbare starke Geschwindigkeitsabfall wird durch die 6. Kontrollfahrt (Beginn 7:58 Uhr, Geschwindigkeitseinbruch 8:04 Uhr) mit rund 4 Minuten Dauer wiedergespiegelt.

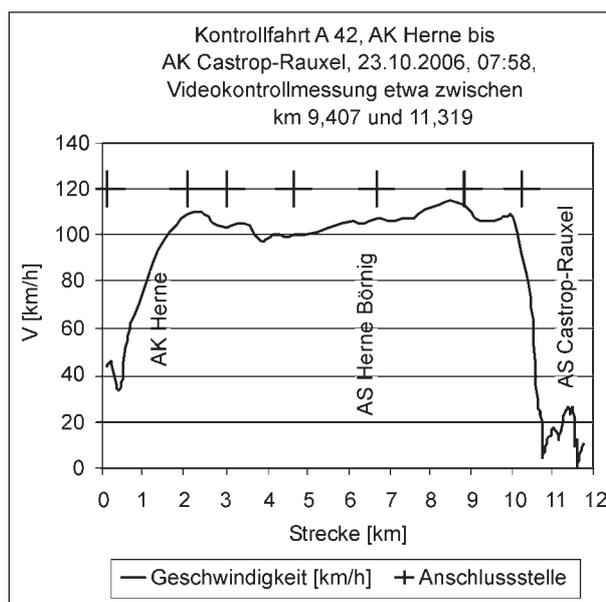


Bild 3.11: Grafische Ergebnisdarstellung einer Kontrollfahrt mit dem GPS-Tracker

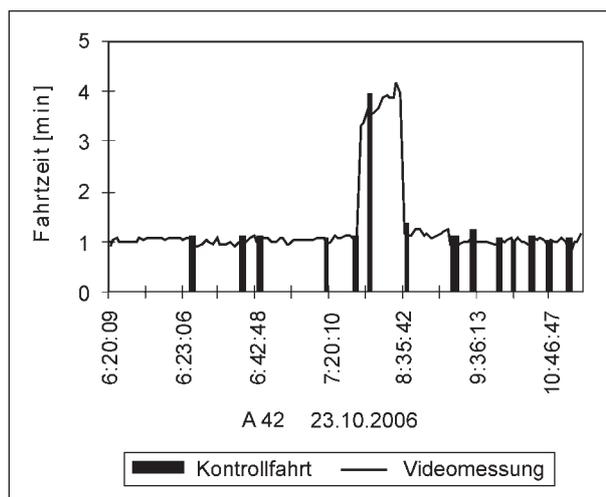


Bild 3.12: Fahrtzeitmessungen mittels Kontrollfahrt und Videomessungen

### 3.5 Einschätzung der Verfahren anhand der videobasierten Fahrtzeitmessungen

#### 3.5.1 Differenzierung nach Verkehrsstufen

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Berechnungsverfahren mit denen der Kontrollmessungen verglichen. Um verkehrsstärkebedingte Einflüsse auf den Verkehrsfluss berücksichtigen zu können, wurden zunächst die Verkehrsstufen gemäß MARZ 99 [25] für die Zeitbereiche der Kontrollmessungen ermittelt. Die dafür erforderlichen  $q$ -/ $v$ -Werte stammen von einem Messquerschnitt, der etwa in der Mitte der Kontrollstrecke liegt. Für die Kontroll-

Verkehrsstufe	Geschwindigkeit	Dichte bei 2 Fahrstreifen	Dichte bei 3 Fahrstreifen
	[km/h]	[Kfz/km]	[Kfz/km]
freier Verkehr	> 80	≤ 0 ≤ 30	≥ 0 ≤ 40
dichter Verkehr	> 80	> 30 ≤ 60	> 40 ≤ 70
zähfließender Verkehr	> 30 < 80	≤ 60	≤ 70
gestauter Verkehr	< 30	> 60	> 70

Tab. 3.11: Verkehrsstufen gemäß MARZ 99

strecke A 5 wurde der Messquerschnitt Q50GS und für die Kontrollstrecke A 8 der Messquerschnitt M11 gewählt. Für die Kontrollstrecke A 42 stehen nur zwei Messquerschnitte (MQ 0542o und MQ 0562o) zur Verfügung. Gewählt wurde der Messquerschnitt MQ 0562o, weil es während der Kontrollmessungen hier zu einem Stau kam.

Das MARZ 99 differenziert die vier in Tabelle 3.11 aufgeführten Verkehrsstufen.

Die überwiegende Zahl der Kontrollmessungen fällt in die Verkehrsstufe „freier Verkehr“. Dichter Verkehrsfluss wurde nur auf der A 5 festgestellt. Es kommt häufiger vor, dass die q-/v-Werte im Übergangsbereich zwischen den Verkehrsstufen „freier Verkehr“ und „dichter Verkehr liegen“, d. h., ein Wert liegt knapp unterhalb des Schwellenwerts zum „dichten Verkehr“ und der folgende knapp über dem Schwellenwert usw.. Dauert ein solcher Zustand länger als fünf Minuten an, wurde im Rahmen dieser Untersuchung, um eine feinere Differenzierung der Daten zu erreichen, eine zusätzliche Verkehrsstufe „freier – dichter Verkehr“ eingeführt. Die Verkehrsstufe „zähfließender Verkehr“ wurde praktisch nicht festgestellt. Der Stau auf der A 42 baute sich innerhalb sehr kurzer Zeit auf, sodass die Anzahl der Messwerte, die der Verkehrsstufe „zähfließender Verkehr“ zugeordnet werden können, sehr gering ist (neun Messwerte). Gesicherte Aussagen können daraus nicht abgeleitet werden. Gestauter Verkehr wurde während der Kontrollmessungen nur auf der A 42 beobachtet.

### 3.5.2 Beurteilungsumfang

Zur Einschätzung der Verfahren werden nachfolgend die gemessenen mit den berechneten Fahrtzeiten verglichen. Dazu werden beide Fahrtzeiten zunächst über den Messzeitraum grafisch dargestellt und anschließend die minimalen, maximalen sowie mittleren Abweichungen ermittelt.

Bedeutsam für die Einschätzung der Ergebnisse ist die Kenntnis darüber, von welcher Kontrollstrecke die Messwerte stammen, da die Abstände der stationären Messeinrichtungen unterschiedlich sind. Die Strecken sind deshalb in den nachfolgenden Tabellen benannt.

Zum besseren Vergleich der Ergebnisse werden die Fahrtzeiten der unterschiedlich langen Kontrollstrecken auf eine normierte Fahrtstrecke von 10 km Länge hochgerechnet.

Das vorliegende Datenmaterial ermöglicht, differenziert nach den Verkehrsstufen, die in Tabelle 3.12 zusammengestellten Fahrtzeitanalysen.

Auf der Teststrecke A 42 kam es an beiden Kontrolltagen am Messquerschnitt MQ 0562o zu Problemen bei der Datenübertragung zur Verkehrsrechnerzentrale. Für die online arbeitenden Verfahren OLSIM und ddg standen deshalb keine aktuellen Messwerte als Eingangsgrößen von diesem Messquerschnitt zur Verfügung. Beide Verfahren haben für den Fall eines Datenausfalls entsprechende Datenersatzverfahren, sodass auch hier Fahrtzeiten berechnet werden können. Eine Beurteilung der von den Verfahren OLSIM und ddg berechneten Fahrtzeiten im Hinblick auf deren Genauigkeit ist jedoch für den Zeitraum des Datenausfalls (23.10.2006) nicht statthaft.

Bei den drei übrigen Verfahren, die nur im Rahmen dieses Forschungsvorhabens auf der A 42 eingesetzt waren, wurden die Verkehrskenngrößen erst nach Ablauf des Praxistests zur Verfügung gestellt. Für den Zeitraum des Datenausfalls wurden, an-

Verkehrsstufe	Verfahren				
	OLSIM	ddg	ASDA/ FOTO	Einf. Ansatz	MAVE-S
freier Verkehr	A 42	A 5 A 8 A 42	A 5 A 42	A 5 A 8 A 42	A 8 A 42
dichter bis freier Verkehr	-	A 5 A 8	A 5	A 5 A 8	A 8
dichter Verkehr	-	A 5	A 5	A 5	-
zähfließ. Verkehr	-	-	-	-	-
gestauter Verkehr	*)	*)	A 42	A 42	A 42

\*) siehe Erläuterungen

Tab. 3.12: Überblick über die durchgeführten Analysen der Fahrtzeitberechnungen

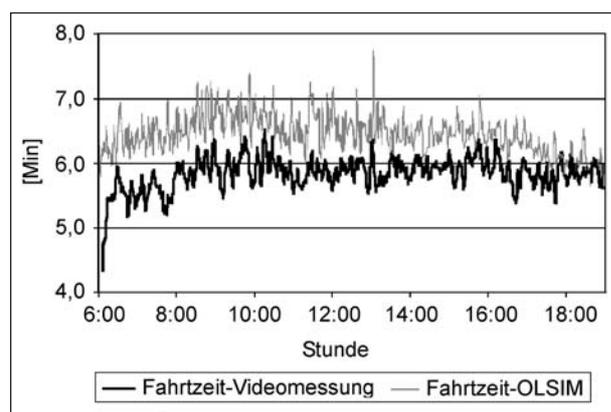
stelle der Daten der Verkehrsrechnerzentrale, die in der Streckenstation gespeicherten Daten ausgelesen und den Verfahren als Eingangsgrößen zur Verfügung gestellt. Die berechneten Fahrtzeiten der drei Verfahren für den 23.10.2007 können deshalb für die weiteren Vergleiche herangezogen werden.

### 3.5.3 Verfahren OLSIM

Für das Verfahren OLSIM sind die berechneten und die mittels Video gemessenen Fahrtzeiten für den freien Verkehrsfluss im Bild 3.13 (20.10.2006) gegenübergestellt und in Tabelle 3.13 quantifiziert. Alle Werte gelten für die 10 km lange Normstrecke.

Die berechneten Fahrtzeiten liegen immer etwas höher als die gemessenen. Bei 87 % der Kontrollwerte sind die Unterschiede mit weniger als eine Minute aber gering. Nur bei 13 % aller Kontrollwerte beträgt die Fahrtzeit mehr als eine Minute, wobei die 2-Minutengrenze nicht überschritten wird.

Die mittlere Abweichung liegt bei 37 Sekunden. Der Mittelwert der Kontrollmessungen entspricht einer Pkw-Durchschnittsgeschwindigkeit von 103 km/h und liegt damit etwas über der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf der Kontrollstrecke (100 km/h). Die vom Verfahren OLSIM berechnete mittlere Pkw-Geschwindigkeit auf der Normstrecke beträgt



**Bild 3.13:** Fahrtzeitenvergleich [min], Verfahren OLSIM – Kontrollmessung, freier Verkehrsfluss

Kontrollstrecke		Fahrtzeitunterschiede [min]			
		≤ 1	1 < x ≤ 2	2 < x ≤ 3	> 3
A 42	Prozent	87	13	-	-
	Häufigkeit	612	89	-	-

**Tab. 3.13:** Fahrtzeitenvergleich, Verfahren OLSIM, freier Verkehrsfluss

92 km/h und liegt damit um etwa 10 km/h unter den Messergebnissen.

Eine Beurteilung des Verfahrens OLSIM bei den übrigen Verkehrsstufen ist aufgrund fehlender Daten nicht möglich.

### 3.5.4 Verfahren ddg

Für das Verfahren ddg liegen von allen drei Kontrollstrecken Fahrtzeiten vor. In den Bildern 3.14a bis 3.14e sind die berechneten und die mittels Video gemessenen Fahrtzeiten gegenübergestellt. Alle Werte gelten für die 10 km lange Normstrecke.

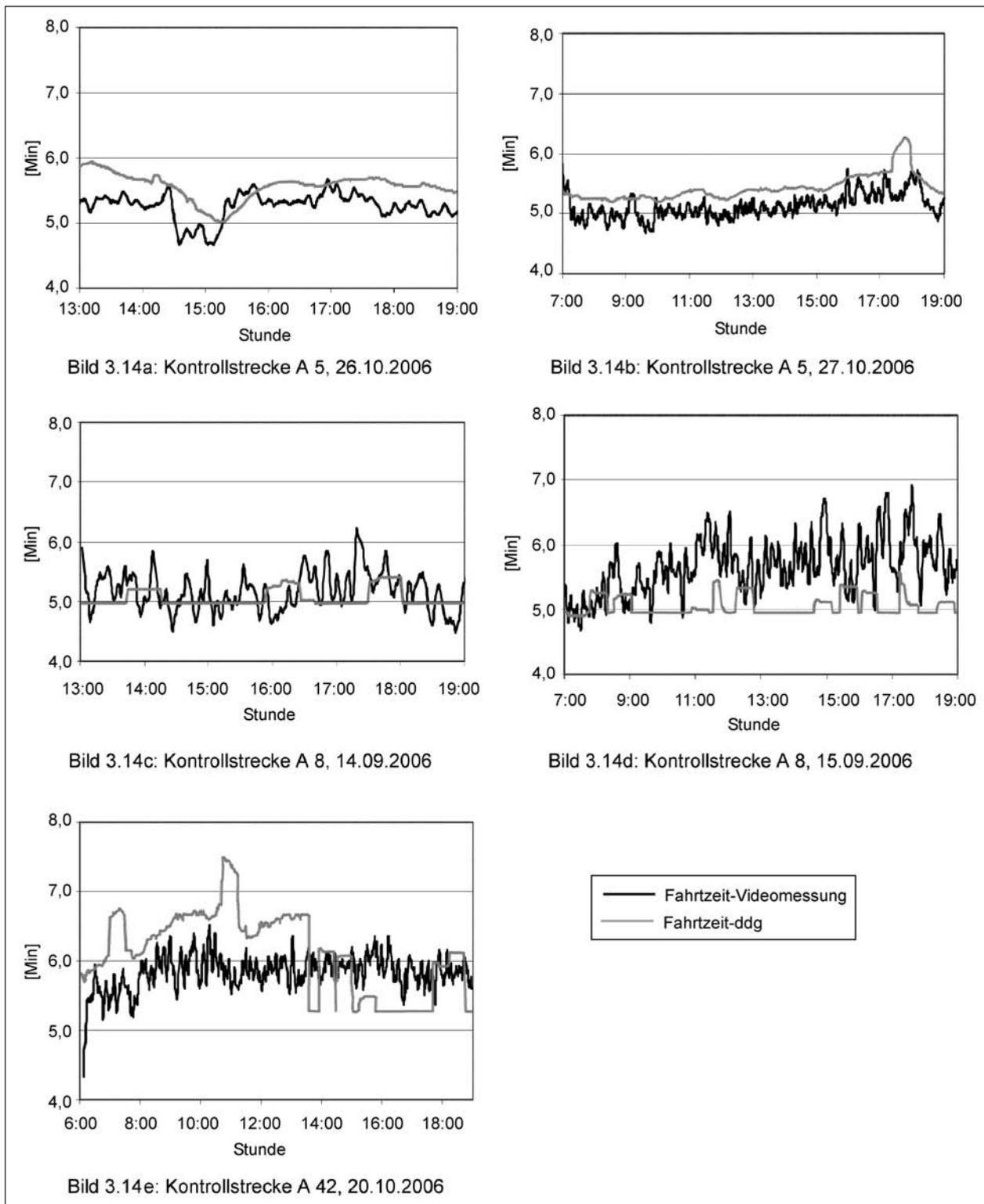
Die Unterschiede der vom Verfahren ddg berechneten und durch Videomessungen ermittelten Fahrtzeiten sind für die Verkehrsstufe „freier Verkehr“ in Tabelle 3.14 zusammengestellt. Auf der Kontrollstrecke A 5 weichen die berechneten Pkw-Fahrtzeiten um nicht mehr als eine Minute von den gemessenen ab. In nahezu allen Fällen (94 %) liegen die berechneten Fahrtzeiten höher als bei den Kontrollmessungen, im Mittel um 17 Sekunden. Damit kommen die berechneten Fahrtzeiten den gemessenen sehr nahe. Für die Anzeige von Reisezeitinformationen in dWiSta sind diese Abweichungen nicht relevant.

Die sehr gute Überstimmung der berechneten mit den gemessenen Fahrtzeiten steht auch im Zusammenhang mit der sehr dichten Folge stationärer Messquerschnitte auf der A 5, durch die kleinere und/oder kurzfristige Änderungen im Verkehrsablauf gut erfasst werden können. Das Verfahren ddg stützt sich, neben dem eigenen Erfassungssystem SES, auf die an den stationären Messquerschnitten erhobenen Verkehrskenngrößen (vgl. Bild 3.4).

Auf der Kontrollstrecke A 8 sind 91 % aller Fahrtzeitunterschiede kleiner als eine Minute, wobei in rund 25 % der Fälle eine längere und in 75 % eine

Kontrollstrecke		Fahrtzeitunterschiede [min]			
		≤ 1	1 < x ≤ 2	2 < x ≤ 3	> 3
A 5	Prozent	100	-	-	-
	Häufigkeit	778	-	-	-
A 8	Prozent	91	8	-	-
	Häufigkeit	870	81	-	-
A 42	Prozent	90	10	-	-
	Häufigkeit	630	71	-	-

**Tab. 3.14:** Fahrtzeitenvergleich, Verfahren ddg, freier Verkehrsfluss



**Bild 3.14:** Fahrtzeitenvergleich [min], Verfahren ddg

kürzere Fahrtzeit berechnet wurde. Die Unterschiede betragen im Mittel weniger als 25 sec. Bei gut 8 % der Werte liegt der Fahrtzeitunterschied zwischen einer und zwei Minute(n). Die mittlere Abweichung liegt bei 74 sec, nur wenig über der 1-Minutengrenze.

Bei der Einschätzung dieser Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass dem Verfahren ddg auf der Kontrollstrecke A 8 nur Verkehrsdaten aus einem Sensor seines eigenen Erfassungssystems (SES) zur Verfügung stehen. Der Sensor erfasst zudem nur das Verkehrsgeschehen auf dem Überholfahr-

streifen und überträgt die Verkehrsdaten „nur“ zu ausgewählten Zeitpunkten an die Zentrale, das heißt bei wesentlichen Änderungen des Verkehrsflusses. Dadurch werden die Minimal- und Maximalwerte stärker eliminiert und das Verkehrsgeschehen insgesamt nivelliert. Trotz minimaler aktueller Verkehrskenngrößen als Eingangsdaten für das Verfahren ddg stimmen die berechneten Fahrtzeiten auf der Kontrollstrecke A 8, bei einem freien, d. h. ungestörten, Verkehrsfluss gut mit den gemessenen überein.

Auf der Kontrollstrecke A 42 unterscheiden sich 90 % der vom Verfahren ddg berechneten Fahrtzeiten von den Fahrtzeiten der Kontrollmessungen um nicht mehr als eine Minute, im Mittel um 35 sec. Bei 10 % der Vergleichswerte liegen die Unterschiede zwischen einer und zwei Minute(n). Die mittlere Abweichung liegt in dieser Gruppe bei 1,3 Minuten (80 sec). In der Verkehrsstufe „freier – dichter Verkehr“ zeigen sich auf den Kontrollstrecken A 5 und A 8 deutliche Unterschiede. Die zugehörigen Kennwerte sind in Tabelle 3.15 zusammengestellt.

Zwischen den Ergebnisse des Fahrtzeitvergleichs in den Verkehrsstufen „freier Verkehr“ und „freier – dichter Verkehr“ zeigen sich auf der Kontrollstrecke A 5 keine signifikanten Unterschiede (vgl. Tabelle 3.14). Alle Fahrtzeitunterschiede betragen weniger als eine Minute, die mittlere Abweichung liegt bei nur 18 sec. Dieses sehr gute Ergebnis wird wiederum mit der dichten Folge der stationären Messquerschnitte auf der A 5 in Verbindung gebracht.

Auf der Kontrollstrecke A 8 weist dagegen das Verfahren ddg in der Verkehrsstufe „freier – dichter Verkehr“ eine Zunahme der Unterschiede zwischen den berechneten und den gemessenen Fahrtzeiten auf. Fahrtzeitunterschiede von bis zu einer Minute werden bei 57 % der Vergleichswerte ermittelt. Dieser Anteil liegt gegenüber dem „freien Verkehrsfluss“ (91 %) deutlich niedriger. Die übrigen vom Verfahren ddg berechneten Werte weichen um eine bis zwei Minute(n) von den Fahrtzeiten der Kontrollmessungen ab; im Mittel beträgt die Abweichung 82 sec. Das Verfahren ddg berechnet durchweg kürzere Fahrtzeiten, als die Kontrollmessungen ausweisen.

Die deutlich größeren Fahrtzeitunterschiede gegenüber dem Verkehrszustand „freier Verkehr“ sind im Zusammenhang mit der vom Verfahren ddg verfügbaren stationären Datenerfassung zu sehen. Möglicherweise reicht ein Sensor nicht aus, um das Verkehrsgeschehen auf der über 7 km langen Kon-

Kontrollstrecke		Fahrtzeitunterschiede [min]			
		≤ 1	1 < x ≤ 2	2 < x ≤ 3	> 3
A 5	Prozent	100	-	-	-
	Häufigkeit	130	-	-	-
A 8	Prozent	57	43	-	-
	Häufigkeit	59	45	-	-

Tab. 3.15: Fahrtzeitenvergleich, Verfahren ddg, freier – dichter Verkehrsfluss

Kontrollstrecke		Fahrtzeitunterschiede [min]			
		≤ 1	1 < x ≤ 2	2 < x ≤ 3	> 3
A 42	Prozent	99	1	-	-
	Häufigkeit	168	1	-	-

Tab. 3.16: Fahrtzeitenvergleich, Verfahren ddg, dichter Verkehrsfluss

trollstrecke in vollem Umfang zu erfassen. Fahrtzeitbeeinflussende Ereignisse, z. B. gegenseitiges Überholen von Lkw, außerhalb des Erfassungsbereichs des Sensors, bleiben unerkannt und fließen nicht in die Berechnung ein. Die Wahrscheinlichkeit des Eintretens solcher Ereignisse ist bei höheren Verkehrsstärken größer als bei niedrigeren. Entsprechend nimmt auch die Größe der Abweichungen zwischen den Fahrtzeiten zu.

In Tabelle 3.16 ist die Häufigkeitsverteilung der gemessenen und der vom Verfahren ddg berechneten Pkw-Fahrtzeiten für die Verkehrsstufe „dichter Verkehr“ dargestellt.

Die Unterschiede betragen, wie auch im Fall der Verkehrsstufen „freier Verkehr“ und „freier – dichter Verkehr“, mit nur einer Ausnahme, immer weniger als eine Minute. Dabei sind die vom Verfahren ddg berechneten Fahrtzeiten überwiegend kürzer als die gemessenen. Allerdings ist die mittlere Abweichung mit etwa 20 Sekunden klein.

Mit 14 Sekunden (Verfahren ddg) beziehungsweise 10 Sekunden (gemessen) ist die Standardabweichung bei den Fahrtzeiten klein. Dies deutet auf einen relativ gleichmäßigen Verkehrsfluss hin, der eine Fahrtzeitberechnung generell begünstigt.

### 3.5.5 Verfahren ASDA/FOTO

Das Verfahren ASDA/FOTO wird auf der A 5 im Raum Frankfurt im Regelbetrieb und auf der Teststrecke A 42 zu Zwecken dieses Forschungsvorhabens eingesetzt. Auf der A 5 beträgt die der Normfahrtzeit zugrunde liegende Pkw-Reisegeschwin-

digkeit 120 km/h. Dies entspricht auf der 10 km langen Normstrecke einer Fahrtzeit von 5 Minuten. Auf der A 42 gilt als Pkw-Reisegeschwindigkeit die zulässige Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h, die sich daraus ergebende Fahrtzeit beträgt für die Normstrecke 6 Minuten.

Für das Verfahren ASDA/FOTO, von dem für zwei Kontrollstrecken Fahrtzeiten vorliegen, sind die berechneten und die per Video gemessenen Fahrtzeiten in den Bildern 3.15a bis 3.15d gegenübergestellt. Alle dargestellten Werte gelten für die 10 km lange Normstrecke.

Auf der Kontrollstrecke A 5 wurden während beider Messtage durch das Berechnungsverfahren ASDA/FOTO keine Verkehrsstörungen ermittelt. Verlustzeiten wurden deshalb nicht ausgewiesen. Die Fahrtzeit entspricht deshalb immer der Normfahrtzeit von 5 Minuten. Die Häufigkeitsverteilung

der Unterschiede zwischen den gemessenen und den berechneten Fahrtzeiten ist für den Verkehrszustand „freier Verkehr“ in Tabelle 3.17 zusammengestellt.

Auf beiden Kontrollstrecken ergeben sich beim Verfahren ASDA/FOTO vergleichbar gute Ergebnisse. Auf der Kontrollstrecke A 5 sind alle und auf der

Kontrollstrecke		Fahrtzeitunterschiede [min]			
		≤ 1	1 < x ≤ 2	2 < x ≤ 3	> 3
A 5	Prozent	100	-	-	-
	Häufigkeit	778	-	-	-
A 42	Prozent	98	1	< 1	< 1
	Häufigkeit	1.312	18	6	2

Tab. 3.17: Fahrtzeitenvergleich, Verfahren ASDA/FOTO, freier Verkehrsfluss

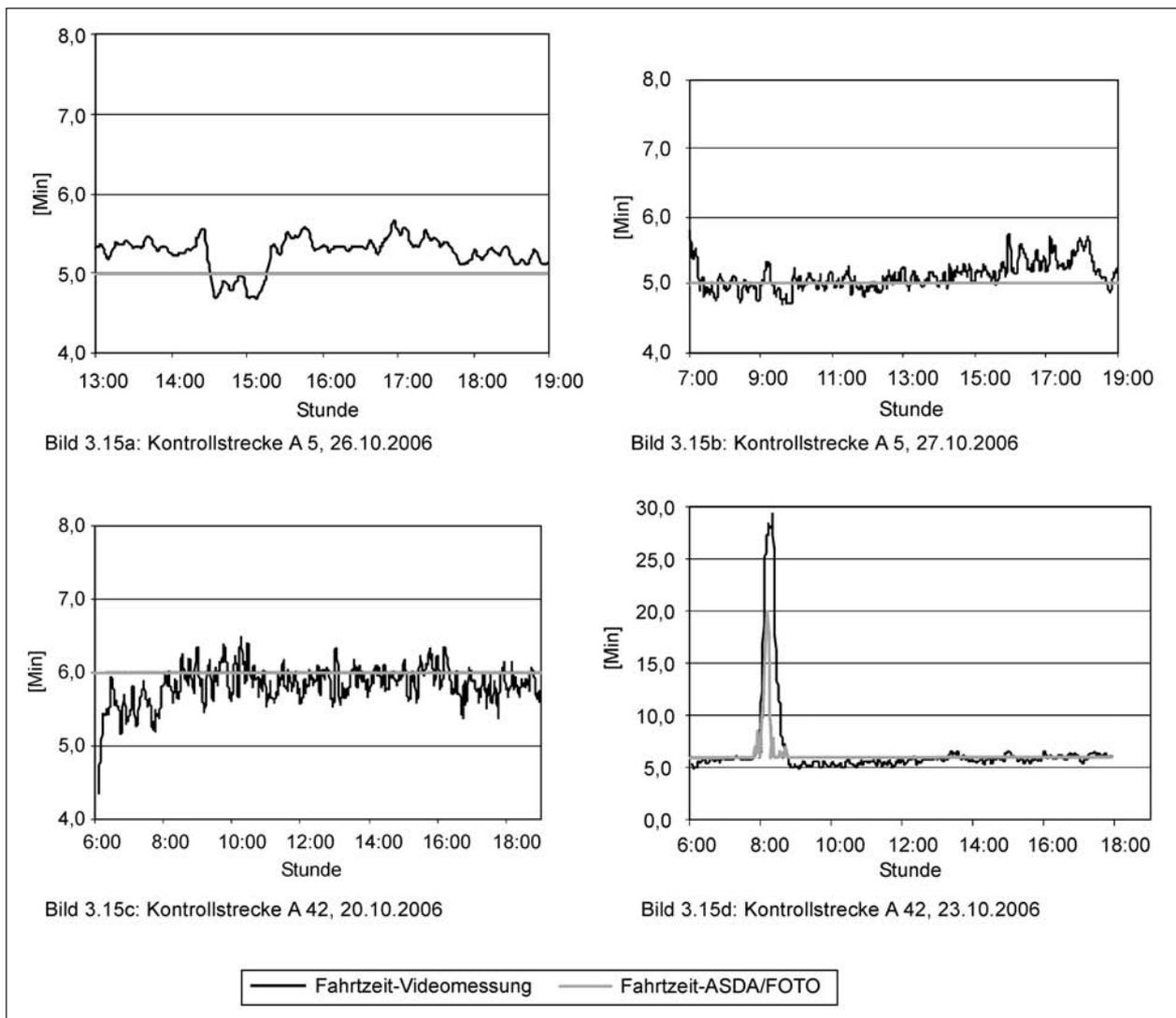


Bild 3.15: Fahrtzeitenvergleich [min], Verfahren ASDA/FOTO

Kontrollstrecke A 42 nahezu alle Unterschiede kleiner als eine Minute. Beim freien Verkehrsfluss, wie auch im Übergangsbereich zum dichten Verkehrsfluss, liegen die mittleren Abweichungen bei den Fahrtzeiten des Berechnungsverfahrens auf der Kontrollstrecke A 5 um 12 Sekunden unter und auf der A 42 um 18 Sekunden über den gemessenen Werten. Beide Unterschiede beziehen sich auf die 10 km lange Normstrecke und werden im Hinblick auf die Anzeige von Reisezeitinformationen in dWiSta als gering eingeschätzt.

Auf der Kontrollstrecke A 5 wurde auch in den Verkehrsstufen „freier bis dichter Verkehr“ (siehe Tabelle 3.18) und „dichter Verkehr“ (siehe Tabelle 3.19) durch das Verfahren ASDA/FOTO keine Verkehrsstörung identifiziert, d. h. keine Verlustzeiten ermittelt. Dieses Ergebnis stimmt mit den durchgeführten Kontrollmessungen überein.

Anders als bei den beiden vorgenannten Verfahren, kann das Verfahren ASDA/FOTO auch bei der Verkehrsstufe „gestauter Verkehr“ betrachtet werden, da die Berechnungen nicht online, sondern erst nach Abschluss des Praxistests offline erfolgten (siehe Tabelle 3.20).

Das Verfahren ASDA/FOTO erkennt den Verkehrsstau (23.10.2006, 7:54 Uhr bis 8:50 Uhr) auf der

Kontrollstrecke		Fahrtzeitunterschiede [min]			
		≤ 1	1 < x ≤ 2	2 < x ≤ 3	> 3
A 5	Prozent	100	-	-	-
	Häufigkeit	130	-	-	-

Tab. 3.18: Fahrtzeitenvergleich, Verfahren ASDA/FOTO, freier – dichter Verkehr

Kontrollstrecke		Fahrtzeitunterschiede [min]			
		≤ 1	1 < x ≤ 2	2 < x ≤ 3	> 3
A 5	Prozent	100	-	-	-
	Häufigkeit	169	-	-	-

Tab. 3.19: Fahrtzeitenvergleich, Verfahren ASDA/FOTO, dichter Verkehrsfluss

Kontrollstrecke		Fahrtzeitunterschiede [min]				
		≤ 3	3 < x ≤ 5	5 < x ≤ 10	10 < x ≤ 20	≥ 20
A 42	Prozent	44	9	24	9	13
	Häufigkeit	24	5	13	5	7

Tab. 3.20: Fahrtzeitenvergleich, Verfahren ASDA/FOTO, gestauter Verkehrsfluss

Kontrollstrecke A 42 (siehe Bild 3.15d) und weist Fahrtzeiten von bis zu 20 Minuten aus. Der Staubeginn stimmt sehr gut mit den Kontrollmessungen überein. Die gemessenen maximalen Fahrtzeiten von 30 Minuten werden durch ASDA/FOTO nicht nachgebildet. Das zeitliche Stauende wird zu früh berechnet. Dadurch kommt es für wenige Minuten zu teilweise sehr großen Abweichungen.

Die Abweichungen werden darauf zurückgeführt, dass der Verkehrsfluss während des Staus auf beiden Fahrstreifen sehr unterschiedlich war. Auf dem Hauptfahrstreifen stellte sich zeitweise ein Verkehrsstillstand ein (überlastete Ausfahrt), dagegen wurde auf dem Überholfahrstreifen, wenn auch mit geringer Geschwindigkeit, gefahren. Diese Stausituation unterscheidet sich von einer „üblichen“ Stausituation, in der alle Fahrstreifen mehr oder weniger gleichermaßen betroffen sind. Bei einer stärkeren Berücksichtigung des Verkehrsflusses auf dem Überholfahrstreifen als auf dem Hauptfahrstreifen fällt im konkreten Fall die mittlere Fahrtzeit aller Pkw kürzer aus.

### 3.5.6 Verfahren EINFACHER ANSATZ

Für das Verfahren EINFACHER ANSATZ liegen für alle drei Kontrollstrecken Fahrtzeiten vor. Die berechneten und die per Video gemessenen Fahrtzeiten sind in den Bildern 3.16a bis 3.16f gegenübergestellt. Alle Werte beziehen sich auf die 10 km lange Normstrecke.

In Tabelle 3.21 sind für den freien Verkehrsfluss die Häufigkeitsverteilungen der Fahrtzeitunterschiede zusammengestellt.

Auf allen drei Kontrollstrecken sind die vom Verfahren EINFACHER ANSATZ berechneten Fahrtzeiten durchweg höher als die gemessenen. Auf den Kontrollstrecken A 5 und A 8 liegen fast alle Fahrtzeit-

Kontrollstrecke		Fahrtzeitunterschiede [min]			
		≤ 1	1 < x ≤ 2	2 < x ≤ 3	> 3
A 5	Prozent	100	0	-	-
	Häufigkeit	760	3	-	-
A 8	Prozent	99	1	-	-
	Häufigkeit	937	14	-	-
A 42	Prozent	86	14	-	-
	Häufigkeit	1.141	189	-	-

Tab. 3.21: Fahrtzeitenvergleich, Verfahren EINFACHER ANSATZ, freier Verkehrsfluss

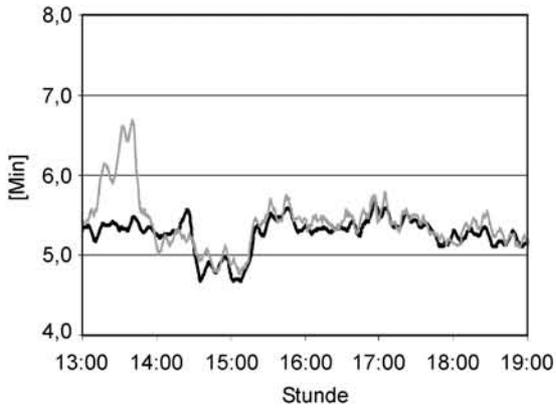


Bild 3.16a: Kontrollstrecke A 5, 26.10.2006

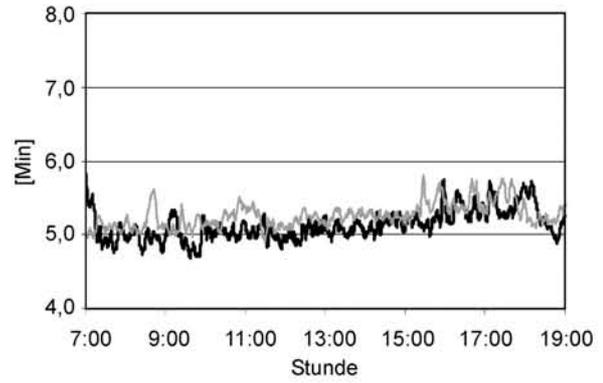


Bild 3.16b: Kontrollstrecke A 5, 27.10.2006

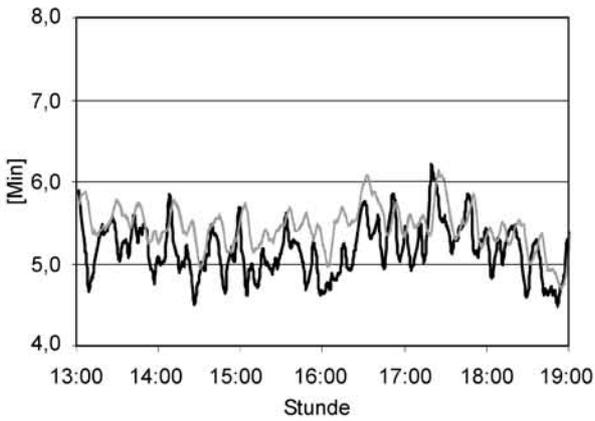


Bild 3.16c: Kontrollstrecke A 8, 14.09.2006

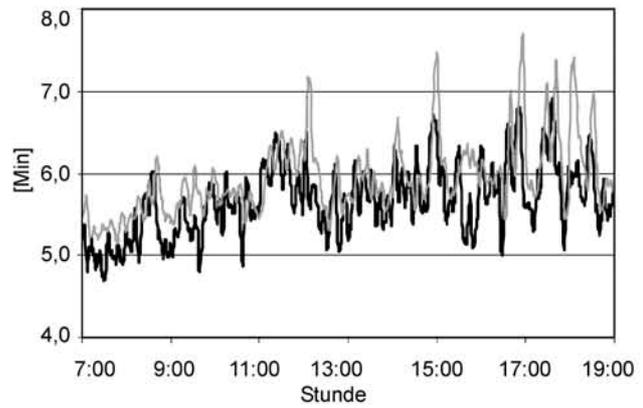


Bild 3.16d: Kontrollstrecke A 8, 14.09.2006

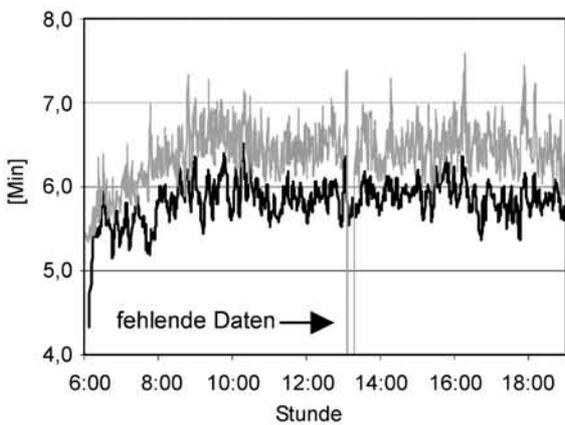


Bild 3.16e: Kontrollstrecke A 42, 20.10.2006

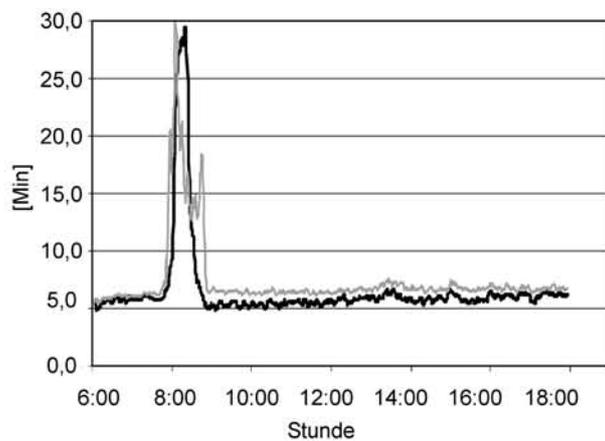


Bild 3.16f: Kontrollstrecke A 42, 23.10.2006

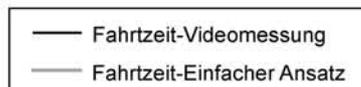


Bild 3.16: Fahrzeitenvergleich [min], Verfahren EINFACHER ANSATZ

Kontrollstrecke		Fahrzeitunterschiede [min]			
		$\leq 1$	$1 < x \leq 2$	$2 < x \leq 3$	$> 3$
A 5	Prozent	93	7	-	-
	Häufigkeit	119	9	-	-
A 8	Prozent	85	15	-	-
	Häufigkeit	88	16	-	-

Tab. 3.22: Fahrzeitenvergleich, Verfahren EINFACHER ANSATZ, freier – dichter Verkehrsfluss

unterschiede unter einer Minute. Die geringsten Unterschiede zeigen sich auf der Kontrollstrecke A 5. Aufgrund der sehr dichten Folge stationärer Messquerschnitte ergibt sich im Mittel nur eine Differenz von 11 Sekunden zwischen den berechneten und den gemessenen Werten. Der entsprechende Wert liegt auf der Kontrollstrecke A 8 mit 20 Sekunden fast doppelt so hoch, ist aber im Hinblick auf mögliche Anzeigen in dWiSta immer noch klein. Auf der Kontrollstrecke A 42 liegt die mittlere Abweichung innerhalb der 1-Minuten-Grenze bei 35 Sekunden. Auf dieser Kontrollstrecke weisen 14 % der Werte eine Abweichung von einer bis zwei Minute(n) auf. Vergleichbar hohe Fahrzeitdifferenzen treten bei den beiden anderen Kontrollstrecken praktisch nicht auf.

Im Übergangsbereich zum dichten Verkehr (siehe Tabelle 3.22) ändern sich auf der Kontrollstrecke A 5 im Vergleich zum freien Verkehrsfluss die Fahrzeitunterschiede nur wenig. Knapp 10 % der Messwerte weichen um eine bis zwei Minute(n) von den Kontrollwerten ab, wobei der Mittelwert von 72 Sekunden deutlich macht, dass die 1-Minuten-Grenze nur wenig überschritten wird.

Auf der Kontrollstrecke A 8 sind die Fahrzeitunterschiede im Übergangsbereich zum dichten Verkehr, gegenüber dem freien Verkehrsfluss größer. 15 % aller Messwerte weichen um mehr als eine Minute von den Kontrollwerten ab. Auch ist die mittlere Abweichung in dieser Gruppe mit 80 Sekunden größer als auf der Kontrollstrecke A 5.

Die unterschiedliche Höhe der Abweichungen auf den Kontrollstrecken A 5 und A 8 wird auf die unterschiedlich dichte Folge der stationären Messquerschnitte auf beiden Autobahnen zurückgeführt.

In Tabelle 3.23 ist die Häufigkeitsverteilung für den Verkehrszustand „dichter Verkehr“, der nur auf der Kontrollstrecke A 5 angetroffen wurde, dargestellt. Alle ermittelten Fahrzeitunterschiede liegen innerhalb der 1-Minutengrenze.

Kontrollstrecke		Fahrzeitunterschiede [min]			
		$\leq 1$	$1 < x \leq 2$	$2 < x \leq 3$	$> 3$
A 5	Prozent	100	-	-	-
	Häufigkeit	169	-	-	-

Tab. 3.23: Fahrzeitenvergleich, Verfahren EINFACHER ANSATZ, dichter Verkehr

Kontrollstrecke		Fahrzeitunterschiede [min]				
		$\leq 3$	$3 < x \leq 5$	$5 < x \leq 10$	$10 < x \leq 20$	$\geq 20$
A 42	Prozent	15	13	46	26	-
	Häufigkeit	8	7	25	14	-

Tab. 3.24: Fahrzeitenvergleich, Verfahren EINFACHER ANSATZ, gestauter Verkehr

Die auffällig gute Übereinstimmung der Kontrollmessungen mit den berechneten Werten des Verfahrens EINFACHER ANSATZ auf der Kontrollstrecke A 5 hängt mit der sehr dichten Folge der stationären Messquerschnitte (mittlerer Abstand etwa 1 km) zusammen. Auch kleinere Änderungen im Verkehrsablauf werden dadurch gut erkannt.

Das Verfahren EINFACHER ANSATZ erkennt den Stau am 23.10.2006 im Zeitraum 7:54 Uhr bis 8:50 Uhr. Das Bild 3.16f zeigt eine gute Übereinstimmung zwischen den gemessenen und den berechneten Werten. Die beiden maximalen Fahrzeiten unterscheiden sich um etwa 3,5 Minuten. Bezogen auf die lange Fahrzeit von 30 Minuten relativiert sich diese auf den ersten Blick hohe Abweichung.

Trotz der grundsätzlich guten Übereinstimmung beider Kurvenverläufe verdeutlicht Tabelle 3.24 aber, dass bei über 72 % der Messwerte Abweichungen größer 5 Minuten und bei 26 % sogar mehr als 10 Minuten auftreten. Im Mittel liegt der mittlere Fahrzeitunterschied bei 7,4 Minuten. Diese hohen Fahrzeitunterschiede resultieren zum Teil aus einer kleinen zeitlichen Verschiebung der gemessenen und berechneten Werte. Die von den stationären Messquerschnitten erfassten Verkehrskenngrößen spiegeln ein etwas höheres Geschwindigkeitsniveau, d. h. kürzere Fahrzeiten und gleichzeitig eine etwas längere Staudauer, wider, als es die per Video erfassten Kontrolldaten zeigen.

### 3.5.7 Verfahren MAVE-S

Für das Verfahren MAVE-S, von dem für zwei Kontrollstrecken Fahrzeiten vorliegen, sind die berechneten und die per Video gemessenen Fahrzeiten in

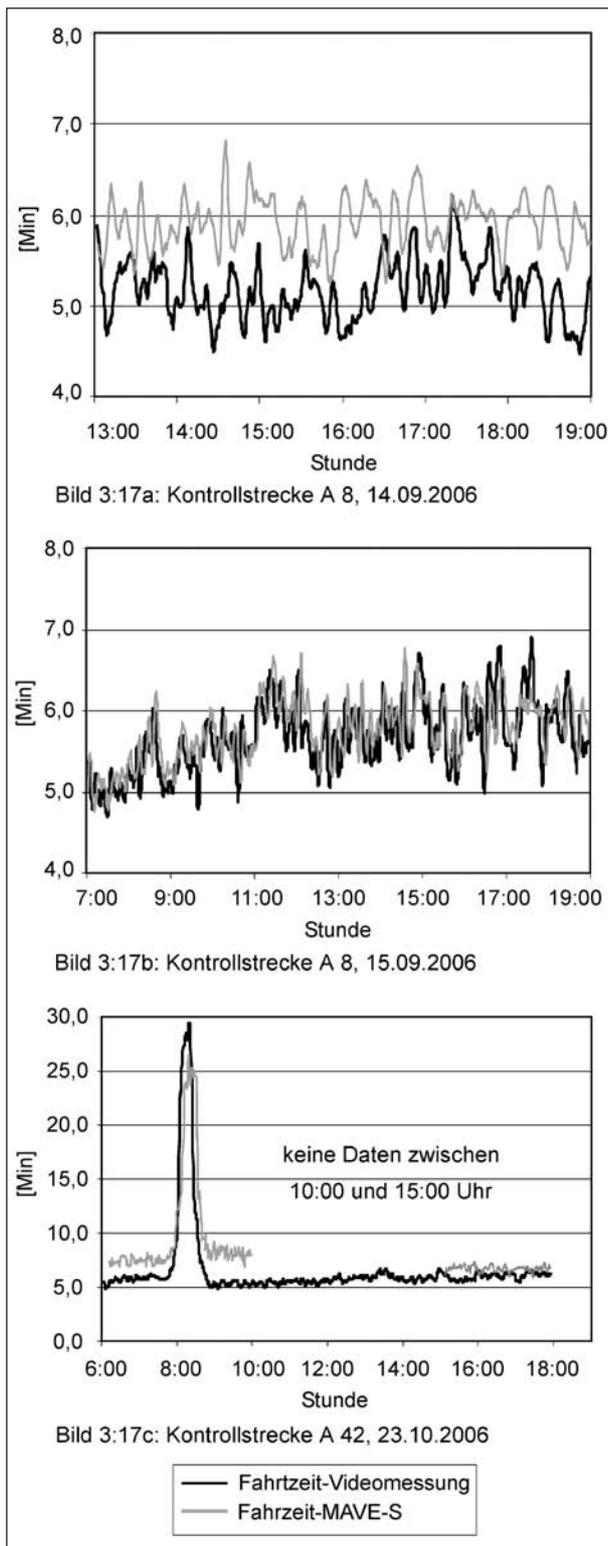


Bild 3.17: Fahrzeitenvergleich [min], Verfahren MAVE-S

den Bildern 3.17a bis 3.17c gegenübergestellt. Alle Werte gelten für die 10 km lange Normstrecke.

In Tabelle 3.25 sind für die Verkehrsstufe „freier Verkehr“ die Abweichungen der berechneten von den gemessenen Fahrzeiten quantifiziert.

Kontrollstrecke		Fahrzeitenunterschiede [min]			
		$\leq 1$	$1 < x \leq 2$	$2 < x \leq 3$	$> 3$
A 8	Prozent	88	12	-	0
	Häufigkeit	841	110	-	0
A 42	Prozent	37	43	13	7
	Häufigkeit	131	154	45	26

Tab. 3.25: Fahrzeitenvergleich, Verfahren MAVE-S, freier Verkehrsfluss

Auf der Kontrollstrecke A 8 liegen knapp 90 % der Fahrzeitenunterschiede zwischen den per Video gemessenen und den von MAVE-S berechneten Fahrzeiten unterhalb einer Minute. Sie betragen im Mittel 20 Sekunden. 12 % der Messwerte fallen in die Gruppe von einer bis zwei Minute(n), der Mittelwert liegt hier bei 1,25 Minuten. Größere Abweichungen treten nicht auf.

Auf der Kontrollstrecke A 42 differieren die gemessenen von den berechneten Werten stärker. Nur gut ein Drittel der Messwerte weist Fahrzeitenunterschiede von weniger als eine Minute (Mittelwert 0,50 Minuten) auf. Bei 43 % der Messwerte liegen die Abweichungen zwischen einer und zwei Minute(n), bei einem Mittelwert von 1,42 Minuten. Abweichungen von mehr als drei Minuten wurden bei 7 % aller Messwerte festgestellt. Die maximale Abweichung lag knapp unter vier Minuten. Dies ist, bezogen auf die Normfahrzeit von sechs Minuten, als hoch einzuschätzen. Das nicht so erwartete Ergebnis ist, auch nach Rücksprache mit der Firma ave, nur teilweise erklärbar.

Ein Grund für die höheren Fahrzeiten liegt wahrscheinlich darin, dass auf der Kontrollstrecke A 42 die vom Verfahren MAVE-S ausgewiesenen Reisegeschwindigkeiten das gesamte Fahrzeugkollektiv betreffen, demnach nicht ausschließlich die Pkw-Reisegeschwindigkeit. Der hierauf zurückführbare Fahrzeitverlust ist abhängig von der Pkw-Geschwindigkeit und dem Lkw-Anteil. Bei einer Pkw-Geschwindigkeit von 100 km/h und einem Lkw-Anteil von 15 % beträgt der damit verbundene Fahrzeitverlust gut 15 Sekunden und bei einem Anteil von 25 % bereits 30 Sekunden.

Eine weitere Ursache könnten die zu hohen Zu- und Abflüsse an der AS Castrop-Rauxel sein, die mittig in der Kontrollstrecke liegen. Nach Aussagen der Firma ave müssen etwa 50 % der den ersten Messquerschnitt passierenden Fahrzeuge am zweiten Messquerschnitt wiedergefunden werden, um zuverlässige Reisezeitmessungen durchführen

Kontrollstrecke		Fahrzeitunterschiede [min]			
		$\leq 1$	$1 < x \leq 2$	$2 < x \leq 3$	$> 3$
A 8	Prozent	100	-	-	-
	Häufigkeit	104	-	-	-

Tab. 3.26: Fahrzeitenvergleich, Verfahren MAVE-S, freier – dichter Verkehrsfluss

Kontrollstrecke		Fahrzeitunterschiede [min]				
		$\leq 3$	$3 < x \leq 5$	$3 < x \leq 10$	$10 < x \leq 20$	$\geq 20$
A 42	Prozent	44	24	22	9	-
	Häufigkeit	24	13	12	5	-

Tab. 3.27: Fahrzeitenvergleich, Verfahren MAVE-S, gestauter Verkehrsfluss

zu können. Sollte während der Kontrollmessungen dieser Wert nicht oder nur knapp erreicht werden, könnten die Ergebnisse dadurch negativ beeinflusst werden. Für diese Vermutung spricht, dass die mittlere Anzahl von zuordenbaren Kennzeichen im Zuge der Videoerfassung auf der A 42 deutlich geringer ist als auf den übrigen Kontrollstrecken. Anhand der vorliegenden Verkehrsstärkedaten der Messquerschnitte im Zuge der A 42 ist es allerdings nicht möglich, die Anzahl der Aus- und Einfahrer an der AS Castrop-Rauxel zu bestimmen.

Für den 20.10.2006 liegen keine durch das Verfahren MAVE-S berechneten Fahrzeiten vor.

Eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den gemessenen und den berechneten Fahrzeiten zeigt sich auf der Kontrollstrecke A 8 im Übergangsbereich zum dichten Verkehr (siehe Tabelle 3.26). Alle Fahrzeitunterschiede betragen weniger als eine Minute, der Mittelwert liegt bei 20 Sekunden.

Den Stau auf der Kontrollstrecke A 42 erkennt das Verfahren MAVE-S zuverlässig (siehe Bild 3.17c und Tabelle 3.27). Dennoch ergeben sich zwischen den gemessenen und den berechneten Fahrzeiten deutliche Unterschiede. Rund zwei Drittel der Messwerte unterscheiden sich um bis zu fünf Minuten, wobei die Kontrollzeiten zu etwa gleichen Teilen überschritten wie auch unterschritten werden. Die mittlere Abweichung in dieser Gruppe liegt bei 2,73 Minuten. In Anbetracht der sehr langen Fahrzeiten von bis zu 30 Minuten wird diese Abweichung als klein eingestuft. Bei gut 20 % aller Messwerte ergeben sich Abweichungen zwischen 5 und 10 Minuten (Mittelwert 7,30 Minuten). Noch größere Abweichungen wurden bei knapp 10 % der

Messwerte festgestellt. Allerdings liegt die mittlere Abweichung in dieser Gruppe mit 11,87 Minuten nur wenig über dem 10-Minuten-Schwellenwert. Die maximal festgestellte Abweichung beträgt 17,7 Minuten.

### 3.5.8 Zusammenfassende Einschätzung

Die Datenbasis zur Bewertung des Verfahrens OLSIM beschränkt sich auf die Kontrollstrecke A 42 und deckt ausschließlich die Verkehrsstufe „freier Verkehr“ ab. Die auf der Kontrollstrecke angetroffene Stausituation konnte, bedingt durch einen Ausfall der Datenübertragung, durch das Verfahren OLSIM nicht wiedergespiegelt werden. Bezogen auf die 10 km lange Normstrecke lagen die vom Verfahren OLSIM ermittelten Fahrzeiten im freien Verkehrsfluss um 37 Sekunden über den gemessenen Werten.

Das Verfahren ddg konnte auf allen drei Kontrollstrecken getestet werden. Es wurde deutlich, dass die unterschiedliche Dichte der vom Verfahren nutzbaren stationären Messquerschnitte die Größe der Abweichung zwischen den berechneten und den gemessenen Fahrzeiten beeinflusst. Dies gilt insbesondere für die Kontrollstrecke A 8, auf der nur ein Sensor des SES-Systems Eingangsdaten für das Verfahren ddg bereitstellte. Die ermittelten Fahrzeitunterschiede auf dieser Kontrollstrecke, in der Verkehrsstufe „freier – dichter Verkehr“, betragen im Mittel eine Minute, in allen anderen Vergleichsfällen lagen sie im Mittel unter einer Minute.

Die vom Verfahren ASDA/FOTO berechneten mittleren Fahrzeiten (Normfahrzeit plus Verlustzeit) weichen relativ gering von den Kontrollmessungen ab, lässt man die Verkehrsstufe „gestauter Verkehr“ zunächst außer Acht. Die resultierende mittlere Fahrzeit auf der Normstrecke liegt um bis zu 20 Sekunden unter der gemessenen. Die Stausituation auf der Kontrollstrecke A 42 wurde vom Verfahren ASDA/FOTO erkannt, die damit verbundenen Fahrzeitverlängerungen jedoch unterschätzt.

Das Verfahren EINFACHER ANSATZ stützt sich auf die minütlich aggregierten Geschwindigkeits- und Verkehrsstärkedaten. Die Genauigkeit des Verfahrens hängt in starkem Maße vom Abstand der stationären Messeinrichtungen ab. Auf der Kontrollstrecke A 5, auf der es einen sehr dichten Messstellenabstand gibt, liegen die berechneten mittleren Fahrzeiten sehr nahe an den gemessenen. Die mittlere Abweichung beträgt auf der Kontrollstrecke

A 5 weniger als 13 Sekunden. Mit zunehmendem Abstand der Messstellen wachsen auch die Abweichungen zwischen den berechneten und den gemessenen Fahrtzeiten an. Auf der Kontrollstrecke A 42, mit einem mittleren Messstellenabstand von etwa 2 km, beträgt die Abweichung beim freien Verkehrsfluss 40 Sekunden. Die Stausituation auf der Kontrollstrecke A 42 hat das Verfahren EINFACHER ANSATZ erkannt. Etwa 25 % der in der Stausituation berechneten Fahrtzeiten unterscheiden sich von den gemessenen um mehr als 10 Minuten, wobei es sowohl zu Über- als auch zu Unterschreitungen kommt.

Die vom Verfahren MAVE-S ermittelten mittleren Fahrtzeiten in der Verkehrsstufe „freier Verkehr“ stimmen auf der Kontrollstrecke A 8 sehr gut mit den gemessenen überein, während sie auf der Kontrollstrecke A 42 stärker abweichen. Die Abweichungen sind größer als bei den anderen Verfahren. Den Verkehrsstau auf der Kontrollstrecke A 42 bildet das Verfahren MAVE-S sehr gut ab. Die mittlere Abweichung liegt zwar bei gut zwei Minuten, bezogen auf Fahrtzeiten von bis zu 30 Minuten wird diese Abweichung aber als gering eingeschätzt.

Insgesamt gesehen sind die mittleren Abweichungen der berechneten Fahrtzeiten aller Verfahren gegenüber den gemessenen Fahrtzeiten relativ klein und betragen meist weniger als 10 % der gemessenen Fahrtzeit. In der überwiegenden Anzahl errechnen die Verfahren etwas längere Fahrtzeiten als gemessenen worden sind. Die durchgeführten Untersuchungen zeigen ferner, dass für die Qualität der berechneten Fahrtzeiten eine zuverlässige und möglichst dichte Datenerfassung vorteilhaft ist, wie beispielsweise die Ergebnisse des Verfahrens ddg auf den Kontrollstrecken A 5 und A 8 belegen.

## 3.6 Einschätzung der Verfahren anhand ausgewählter Zeitbereiche

### 3.6.1 Einführung

Die im Kapitel 3.5 beschriebenen Vergleiche der einzelnen Berechnungsverfahren mit den Kontrollmessungen erlauben keine belastbare Einschätzung der Berechnungsverfahren. Den meisten Vergleichen liegt ein freier Verkehrsfluss zugrunde. Die übrigen Verkehrsstufen sind während der Kontrollmessungen nur über kürzere Zeiträume oder gar nicht aufgetreten (Verkehrsstufe „zähfließender Verkehr“). Verkehrsstufen mit höherer Verkehrsdichte als der „freie Verkehrsfluss“ sind aber für die

Anzeige von Reisezeitinformationen in dWiSta besonders interessant. Hinzu kommt, dass aufgrund von Problemen bei der Datenübertragung (vgl. Kapitel 3.5.2) nicht allen Verfahren die gleiche Datenbasis zur Verfügung stand.

Das vorliegende Datenmaterial umfasst für die Dauer des Praxistests (14 Tage plus Nacherhebung, siehe Kapitel 3.2.1) die von den stationären Messquerschnitten erhobenen Verkehrskenngrößen auf den Teststrecken sowie die von den Verfahren berechneten Fahrtzeiten für die gesamte Teststrecke. Es wurde auf Zeitbereiche mit Störungen im Verkehrsablauf hin analysiert. Für die ausgewählten Zeitbereiche liegen keine videobasierten Kontrollmessungen vor. In Einzelfällen gibt es zeitgleiche Kontrollfahrten, die als Vergleichsmaßstab herangezogen werden können.

Ziel dieses Untersuchungsteils ist es aufzuzeigen, ob beim Erkennen von Störungen im Verkehrsablauf die einbezogenen Verfahren unterschiedlich, und wenn ja, wie, reagieren.

### 3.6.2 Teststrecke A 5

#### Vorbemerkung

Auf der Teststrecke A 5 werden die Verfahren ASDA/FOTO, ddg und EINFACHER ANSATZ geprüft. Die Teststrecke zeichnet sich durch eine sehr dichte Folge von Messquerschnitten aus. Deren mittlere Abstände liegen bei weniger als einem Kilometer. Das Verfahren ddg kann zusätzlich zu den stationären Messquerschnitten auf vier eigene Sensoren (SES) im Zuge der Teststrecke zurückgreifen (siehe Bild 3.4).

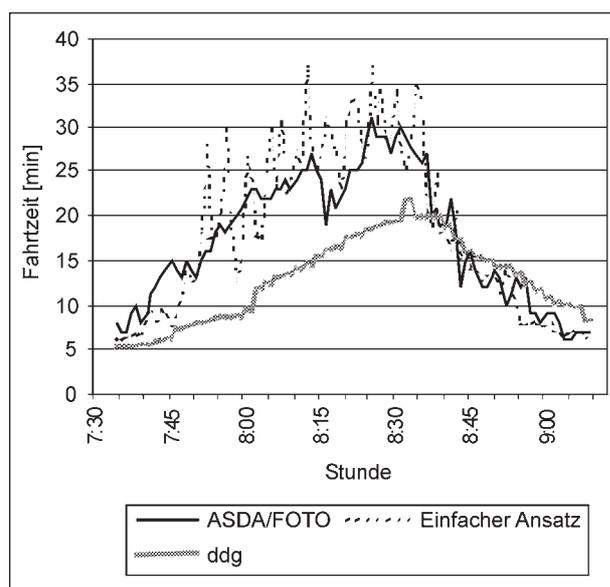
Beispiel 1, 15.09.2006;  
AS Friedberg – AK Bad Homburg

Am 15.09.2006 traten morgens im Zeitraum von 07:30 Uhr und 09:00 Uhr größere Verkehrsstörungen zwischen der AS Friedberg und dem AK Bad Homburg auf. Die mittleren Reisegeschwindigkeiten der Pkw sanken bis auf 20 km/h ab. Alle drei auf der A 5 getesteten Berechnungsverfahren haben diese Störungen erkannt. Die für den genannten Zeitraum berechneten Fahrtzeiten auf dem Abschnitt AS Friedberg – AK Bad Homburg sind in Bild 3.18 dargestellt. Ergänzend dazu sind in Tabelle 3.27 für alle drei Verfahren die minimalen, mittleren und maximalen Fahrtzeiten während der Störungsdauer angegeben.

Die Fahrzeiten der Verfahren ASDA/FOTO und EINFACHER ANSATZ stimmen in ihrem zeitlichen Verlauf gut überein. Das Verfahren EINFACHER ANSATZ spiegelt Schwankungen im Verkehrsablauf (kurzzeitig besserer Verkehrsfluss, dann wieder Abbremsen) wider. Diese Schwankungen werden im Verfahren ASDA/FOTO, dies deutet der stetigere Kurvenverlauf in Bild 3.18 an, geglättet. Davon unbenommen zeigt Tabelle 3.28, dass die minimalen, mittleren und maximalen Fahrzeiten beider Verfahren dennoch sehr ähnlich sind.

Unter dem Gesichtspunkt der Anzeige von Reisezeitinformationen in dWiSta werden die beim Verfahren EINFACHER ANSATZ aufgetretenen großen Geschwindigkeitssprünge innerhalb kurzer Zeiten als weniger günstig angesehen, da bei einer direkten Verwendung der Fahrzeiten die Entscheidung für bzw. gegen die Empfehlung einer Alternativroute stark alternierend sein könnte.

Das Verfahren ddg berechnet, im Vergleich zu den beiden vorgenannten Verfahren, kürzere Fahrzei-



**Bild 3.18:** Fahrzeitenvergleich [min] A 5, AS Friedberg – AK Bad Homburg (15.09.2006)

Fahrzeit [min]	AS Friedberg – AK Bad Homburg		
	ASDA/FOTO	ddg	EINFACHER ANSATZ
Minimum	6,0	5,3	5,6
Mittelwert	18,0	12,8	18,2
Maximum	31,0	21,8	31,5
Stichprobenumfang	90	89	90

**Tab. 3.28:** Fahrzeitenvergleich [min], A 5, AS Friedberg – AK Bad Homburg (15.09.2006)

ten. Auf dem etwa 10,2 km langen Abschnitt liegen sie im Mittel etwa 5 Minuten unter den mittleren Werten (18 Minuten) der Verfahren ASDA/FOTO und EINFACHER ANSATZ. Auch bei der maximalen Fahrzeit berechnet das Verfahren ddg mit etwa 22 Minuten eine deutlich kürzere Fahrzeit als die beiden anderen Verfahren (31 Minuten).

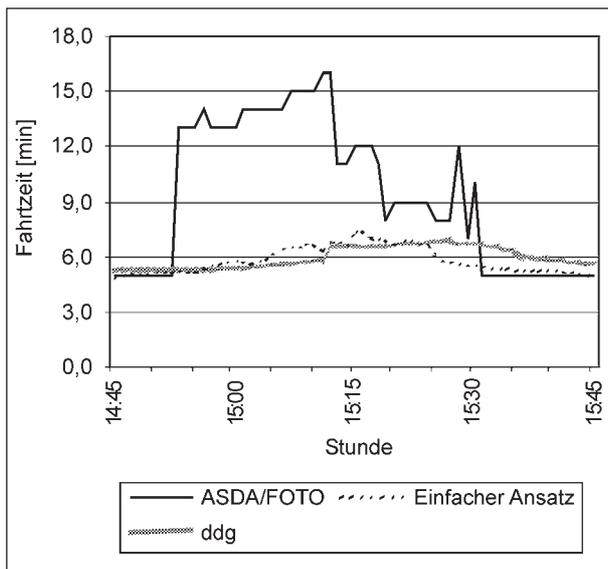
Von Seiten der Entwickler des Verfahrens ddg werden die Unterschiede bei den Fahrzeiten unter anderem mit dem im Verfahren ddg implementierten Glättungsansatz der Daten erklärt. Eine Modifizierung des Ansatzes der Art, dass die Fahrzeiten schneller (als in Bild 3.19 dargestellt) ansteigen und weniger stark gedämpft werden, ist laut Aussagen der Verfahrensentwickler möglich. Das Berechnungsverfahren bietet die Möglichkeit, über entsprechende Parameter, Hysterese- und Ansprechverhalten der Algorithmen einzustellen. Eine entsprechende Änderung müsste aber den weiteren Verwendungszweck der Daten mit berücksichtigen.

Beispiel 2, 20.09.2006;  
AS Friedberg – AK Bad Homburg

Am 20.09.2006 wurde vom Verfahren ASDA/FOTO eine etwa 45-minütige Verkehrsstörung im Abschnitt AS Friedberg – AK Bad Homburg (Länge 10,2 km) erkannt. Bild 3.19 zeigt, dass gemäß den Ergebnissen des Verfahrens ASDA/FOTO die Fahrzeiten auf diesem Abschnitt von der Normfahrzeit von 5 Minuten auf bis zu 16 Minuten anwachsen. Die mittlere Fahrzeit liegt während der Verkehrsstörung bei etwa 10 Minuten. Die zugehörigen minimalen, mittleren und maximalen Fahrzeiten sind für alle drei Verfahren in Tabelle 3.29 zusammengestellt.

Die Verfahren ddg und EINFACHER ANSATZ weisen hinsichtlich der ungestörten Fahrzeit etwa gleiche Werte wie das Verfahren ASDA/FOTO auf. Allerdings liegen bei den Verfahren ddg und EINFACHER ANSATZ die gestörten Fahrzeiten wesentlich niedriger als beim Verfahren ASDA/FOTO (siehe Bild 3.20). Sie sind im Mittel nur etwa halb so groß und betragen rund 6 Minuten. Es fällt auf, dass der zeitliche Verlauf der Zunahme der Fahrzeiten beim Verfahren ddg zeitlich um etwa 10 Minuten nach hinten verschoben ist.

Bei der Analyse der Einzelwerte der stationären Messeinrichtungen im betrachteten Abschnitt ist festzustellen, dass am MQ Q42GS (siehe Bild 3.4) im Zeitbereich von 14:50 Uhr bis 15:25 Uhr die



**Bild 3.19:** Fahrzeitenvergleich [min] A 5, AS Friedberg – AK Bad Homburg (20.09.2006)

Fahrzeit [min]	AS Friedberg – AK Bad Homburg		
	ASDA/FOTO	ddg	EINFACHER ANSATZ
Minimum	5,0	5,2	5,0
Mittelwert	9,9	6,0	5,9
Maximum	16,0	6,8	7,5
Stichprobenumfang	54	54	54

**Tab. 3.29:** Fahrzeitenvergleich [min], A 5, AS Friedberg – AK Bad Homburg (20.09.2006)

Pkw-Geschwindigkeiten sehr stark einbrechen (Minimum 4,1 km/h). Dabei schwanken die minütlichen Werte sehr; sie liegen in einem Bereich von 4 km/h bis 54 km/h. Die mittlere an diesem Messquerschnitt erfasste Geschwindigkeit im o. g. Zeitraum liegt knapp unter 16 km/h. Die Messwerte spiegeln einen „Stop-and-go-Verkehr“ wider. Die Wirkungen der Verkehrsstörung zeigen sich ebenfalls, wenn auch deutlich abgeschwächt, am stromaufwärtigen Messquerschnitt (Q41GS). Die Schwankungsbreite der Pkw-Geschwindigkeiten ist hier deutlich kleiner als am MQ Q42GS. Die mittlere Geschwindigkeit am MQ Q41GS liegt im betrachteten Zeitraum bei knapp unter 60 km/h.

Der Abstand zwischen den beiden Messquerschnitten beträgt 710 m. An dem nächsten, etwa 2,5 km weiter stromaufwärts gelegenen Messquerschnitt (Q40GS) unterschreitet das Geschwindigkeitsniveau 100 km/h dagegen nur in Einzelfällen. Dies bedeutet, dass sich die Verkehrsstörung im Wesentlichen auf den letzten oder auf den beiden letzten Kilometern des betrachteten Streckenab-

schnitts auswirkte. Der stromaufwärts gelegene, rund 8 km lange Streckenabschnitt AS Friedberg – AK Bad Homburg war von der Störung nicht betroffen.

Um die Höhe der vom Verfahren ASDA/FOTO berechneten Fahrzeiten zu erzielen, hätte auf dem 2 km langen Abschnitt mit der Verkehrsstörung eine von 15 km/h und auf dem übrigen Abschnitt eine mittlere Geschwindigkeit von 100 km/h gefahren werden müssen. Die mittlere Geschwindigkeit auf dem Störungsabschnitt (berechnet anhand der Pkw-Geschwindigkeiten von MQ Q41GS und MQ Q42GS) liegt aber bei 39 km/h. Damit ergibt sich eine Gesamtfahrzeit von 7,8 Minuten.

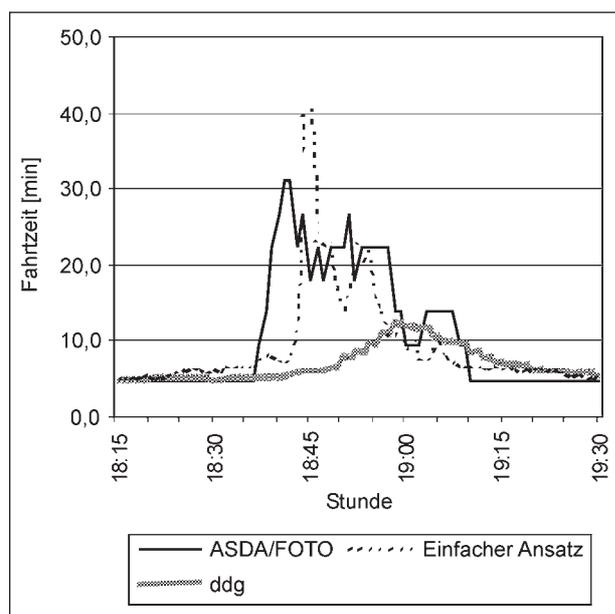
Dies lässt darauf schließen, dass im vorliegenden Fall die mittleren Fahrzeiten durch das Verfahren ASDA/FOTO zu hoch gerechnet worden sind, während die beiden anderen Verfahren nach dieser Überschlagsrechnung möglicherweise zu geringe Fahrzeiten ermittelten.

Beim Verfahren ASDA/FOTO beeinflusst vermutlich die Verlustzeitberechnung niedrige Geschwindigkeitswerte der stationären Messquerschnitte stärker als höhere. Mit abnehmendem Geschwindigkeitsniveau (d. h. zunehmend gestörter Verkehrsablauf) steigt die Wahrscheinlichkeit immer kleinerer Geschwindigkeitswerte, die dann wiederum die Verlustzeitberechnung beim Verfahren ASDA/FOTO dahingehend beeinflussen, dass relativ lange Verlustzeiten berechnet werden. Diese Annahme wird auch dadurch gestärkt, dass im Rahmen der Datenauswertung mehrfach beobachtet wurde, dass beim Verfahren ASDA/FOTO, im Vergleich zu den übrigen Berechnungsverfahren, deutlich längere Fahrzeiten ermittelt wurden, wenn meist auch nur kurzfristig.

Beispiel 3, 14.09.2006;  
Nordwestkreuz Frankfurt – Westkreuz Frankfurt

Auf diesem nur 2,3 km langen Streckenabschnitt kam es am 14.09.2006 ab etwa 18:30 Uhr zu einer gut halbstündigen Verkehrsstörung. Die Störung begann kurz vor dem Westkreuz Frankfurt und erreichte im weiteren Verlauf relativ schnell stromaufwärts das Nordwestkreuz Frankfurt. Die zeitlichen Verläufe der von den drei Verfahren berechneten Fahrzeiten auf dem Streckenabschnitt sind in Bild 3.20 dargestellt.

In Tabelle 3.30 sind die zugehörigen minimalen, mittleren und maximalen Fahrzeiten angegeben,



**Bild 3.20:** Fahrtzeitenvergleich [min] A 5, Nordwestkreuz-Frankfurt – Westkreuz-Frankfurt (14.09.2006)

Fahrtzeit [min]	Nordwestkreuz – Westkreuz		
	ASDA/FOTO	ddg	EINFACHER ANSATZ
Minimum	5,0	5,0	5,1
Mittelwert	11,7	7,1	9,6
Maximum	31,1	12,2	40,4
Stichprobenumfang	54	54	54
Fahrtzeit hochgerechnet auf die Normstrecke (10 km)			

**Tab. 3.30:** Fahrtzeitenvergleich [min], A 5, Nordwestkreuz-Frankfurt – Westkreuz-F. (14.09.2006)

jeweils hochgerechnet auf die 10 km lange Normstrecke.

Auch in diesem Fallbeispiel liegen die vom Verfahren ddg ermittelten Fahrtzeiten niedriger als bei den Verfahren ASDA/FOTO und EINFACHER ANSATZ, oft sogar deutlich. Bezogen auf die Normstrecke von 10 km beträgt der Unterschied zwischen den Verfahren ASDA/FOTO und ddg im Mittel über 4 Minuten. Der mittlere Abstand zum Verfahren EINFACHER ANSATZ ist mit 2,5 Minuten kleiner. Bei den Maximalwerten sind die Unterschiede zwischen dem Verfahren ddg und den beiden anderen Verfahren besonders auffällig.

#### Beispiel 4; Wanderbaustelle

Am 26.10.2006 „melden“ mehrere Messquerschnitte (u. a. Q49GS, Q50GS) im Abschnitt AK Bad

Homburg – Frankfurt einen kurzfristigen Geschwindigkeitsrückgang, teilweise bis auf 70 km/h. Diese Störung lässt sich auch in den entsprechenden Kontrollfahrten erkennen. Sie ist auf eine kleine Wanderbaustelle zurückzuführen. Da die räumliche Wirkung dieser Baustelle auf wenige 100 m beschränkt ist, macht sie sich in Bezug auf die gesamte Fahrtzeit auf dem Abschnitt praktisch nicht bemerkbar. Anhand der zeitgleich erfolgten Kontrollmessungen auf der A 5 wird keine Fahrtzeitverlängerung erkannt.

Das Verfahren ASDA/FOTO errechnet für den relevanten Zeitbereich keine Fahrtzeitverlängerungen (Verlustzeiten). Das Verfahren ddg errechnet eine Fahrtzeitverlängerung von etwa 30 Sekunden gegenüber der Fahrtzeit ohne Wanderbaustelle. Da im vorliegenden Zeitbereich die Fahrtzeit des Verfahrens ddg auch ohne Einfluss der Wanderbaustelle mit etwa 30 Sekunden geringfügig höher liegt als beim Verfahren ASDA/FOTO, ergibt sich, unter Berücksichtigung der Wanderbaustelle, ein Gesamtunterschied zwischen beiden Verfahren von etwa einer Minute. Dieser wird als gering eingeschätzt.

Der von den Messquerschnitten Q49GS und Q50GS festgestellte Geschwindigkeitsrückgang würde, für sich allein betrachtet, eine Fahrtzeitverlängerung von 3,6 Minuten gegenüber einer ungestörten Fahrt mit einer mittleren Geschwindigkeit von 120 km/h bedeuten. Dadurch, dass auf dem Streckenabschnitt AK Bad Homburg – Nordwestkreuz Frankfurt jedoch insgesamt acht Messquerschnitte vorhanden sind, von denen sechs keine oder nur eine unwesentliche Reduzierung der Geschwindigkeit melden, verringerte sich die mittlere Fahrtzeit auf dem Streckenabschnitt nur unwesentlich. Folgerichtig melden auch die Berechnungsverfahren keine Verlustzeiten.

An diesem Beispiel wird deutlich, dass die Anzahl und Verteilung der stationären Messquerschnitte innerhalb einer Strecke von großer Bedeutung für die Fahrtzeitberechnungen sind. Die Messquerschnitte Q49GS und Q50GS liegen etwa in der Mitte des Streckenabschnitts. Wäre außer den beiden Messquerschnitten jeweils nur noch ein weiterer am Anfang und am Ende des Streckenabschnitts vorhanden, würde sich bei einer resultierenden Geschwindigkeit von etwa 90 km/h eine Fahrtzeitverlängerung (bezogen auf die 10 km langen Normstrecke) von immerhin 1,7 Minuten ergeben.

## Empfindlichkeit der Verfahren

### Beispiel 5

Am 21.09.2006 werden im Abschnitt AS Friedberg – AK Bad Homburg von den Messquerschnitten im ersten Drittel des Abschnitts Geschwindigkeitsabfälle der Pkw bis zu 80 km/h registriert. Im weiteren Streckenverlauf wurden keine Geschwindigkeitsreduktionen an den stationären Messquerschnitten mehr beobachtet. Die resultierende Fahrtzeit für den Gesamtabschnitt beträgt, gemäß dem Verfahren EINFACHER ANSATZ, rund 6 Minuten. Dies bedeutet gegenüber der Fahrtzeit bei ungestörten Verhältnissen eine um 1 Minute verlängerte Fahrtzeit.

Das Verfahren ASDA/FOTO erkennt anhand der oben genannten Geschwindigkeitsreduktionen an den nur wenigen Messstationen keine Verkehrsstörung und gibt deshalb auch keine Fahrtzeitverlängerung aus. Das Verfahren ddg berechnet für den entsprechenden Zeitraum eine mit dem Verfahren EINFACHER ANSATZ vergleichbare Fahrtdauer.

### Beispiel 6

Am 27.10.2006 gegen 17:20 Uhr erkennt das Verfahren ASDA/FOTO auf dem Streckenabschnitt AK Bad Homburg – Nordwestkreuz Frankfurt eine leichte Verkehrsstörung, die etwa eine halbe Stunde andauert. Das Verfahren berechnet eine Verlustzeit für den Gesamtabschnitt von einer Minute. Das Verfahren ddg errechnet für den betrachteten Zeitraum eine etwa gleich hohe Verlustzeit, weist jedoch bereits vor wie auch nach der vom Verfahren ASDA/FOTO erkannten Störung Verlustzeiten aus. Das Verfahren EINFACHER ANSATZ ermittelt mit 2,5 Minuten die höchsten Verlustzeiten. Diese vergleichsweise sehr hohen Verlustzeiten des Verfahrens EINFACHER ANSATZ sind auf die sehr niedrigen am Messquerschnitt Q45GS gemessenen Geschwindigkeiten (bis zu 20 km/h) zurückzuführen. Südlich des Messquerschnitts Q45GS normalisiert sich aber der Verkehrsablauf schnell wieder, wie die Ergebnisse der Messquerschnitte Q46GS und Q45GS zeigen.

Im Nachhinein ist nicht mehr feststellbar, welche der ermittelten Verlustzeiten tatsächlich auftraten. Die Vermutung liegt jedoch nahe, dass kleinere, lokal begrenzte Verkehrsstörungen bei dem Verfahren ASDA/FOTO und ddg durch die aufwändigeren Berechnungsalgorithmen weniger stark einfließen.

## Schlussfolgerungen

Trotz der zuvor angeführten Beispiele, mit zum Teil deutlichen Unterschieden bei den Verfahren, zeigen die durchgeführten Datenanalysen insgesamt, dass größere Verkehrsstörungen auf der Teststrecke A 5 von allen drei betrachteten Verfahren erkannt werden. Die momentane Verkehrssituation wird in der Regel ähnlich wiedergegeben.

Bei freiem Verkehrsfluss, das heißt Geschwindigkeiten größer 80 km/h, weist das Verfahren ASDA/FOTO relativ selten Verlustzeiten aus. Dies liegt offensichtlich im Verfahren selbst begründet, da bei einem freien Verkehrsfluss eigentlich keine Verkehrsstörungen auftreten können. Geringe Geschwindigkeitsänderungen an einzelnen stationären Messquerschnitten werden vermutlich vom Verfahren nicht als Verkehrsstörung, die eine Fahrtzeitverlängerung bewirkt, eingestuft. Eine Berechnung von Verlustzeiten findet deshalb nicht statt. Die Verfahren ddg und EINFACHER ANSATZ bilden dagegen den Geschwindigkeitsverlauf und damit die Größe der Fahrtzeiten auch unter Einbeziehung geringerer Geschwindigkeitsänderungen an stationären Messquerschnitten ab. Dies führt dazu, dass im Bereich des freien Verkehrsflusses die Pkw-Fahrtzeiten etwas differenzierter als beim Verfahren ASDA/FOTO ausgegeben werden. Daraus resultierende Fahrtzeitunterschiede auf der 10 km langen Normstrecke liegen meistens unter 2 Minuten.

Beim Verfahren ASDA/FOTO ändern sich, u. a. bedingt durch die Rundung der Verlustzeiten auf volle Minutenwerte, die Fahrtzeiten sprunghaft, während die Fahrtzeitverläufe der Verfahren ddg und EINFACHER ANSATZ dagegen stetiger sind (siehe Bilder 3.19 und 3.20).

Gegenüber den Verfahren ASDA/FOTO und EINFACHER ANSATZ setzt beim Verfahren ddg die Zunahme der Fahrtzeit häufig etwas später ein, hält dafür aber auch entsprechend länger an. Dies kann bei einem minutenscharfen Vergleich der Fahrtzeiten zu deutlichen Unterschieden führen, obwohl die mittleren Fahrtzeiten während der Verkehrsstörung in etwa gleich sind. Bezogen auf die 10 km lange Normstrecke sind durch den späteren Beginn der Verlustzeitausweisung beim Verfahren ddg Fahrtzeitunterschiede zu den anderen Verfahren von mehr als 10 Minuten möglich.

Die angeführten Beispiele zeigen, dass je nach angewandtem Berechnungsverfahren, insbesondere

bei einem gestörten Verkehrsablauf, deutliche Unterschiede bei den berechneten Fahrtzeiten auftreten können. Daraus darf aber nicht abgeleitet werden, dass das eine oder das andere Verfahren immer falsche Fahrtzeiten berechnet und deshalb generell für die Bereitstellung von Daten für Reisezeitinformation in dWiSta nicht geeignet ist.

Die Erkenntnisse sollten vielmehr als Hinweis darauf gedeutet werden, dass bei der Berechnung von Fahrtzeiten auf Haupt- und Alternativrouten die gleichen Berechnungsverfahren angewendet werden. Dies könnte ausschließen, dass im Berechnungsverfahren begründete Fahrtzeitunterschiede zu einer Fehleinschätzung der Fahrtzeiten auf Haupt- und Alternativroute und damit, bei einer Anzeige in dWiSta, möglicherweise zu einer falschen Routenempfehlung führen.

### 3.6.3 Teststrecke A 8

#### Vorbemerkung

Auf der Teststrecke A 8 werden die Verfahren MAVE-S, ddg und EINFACHER ANSATZ geprüft. In Fahrtrichtung München sind auf der Teststrecke insgesamt 20 stationäre Messeinrichtungen vorhanden (siehe Bild 3.5), von denen zwei allerdings nicht in Betrieb waren beziehungsweise keine Daten lieferten (M13, M18). Die Daten der stationären Messeinrichtungen werden von dem Verfahren MAVE-S und dem Verfahren EINFACHER ANSATZ verwendet. Dem Verfahren ddg standen die an den Messquerschnitten erhobenen Daten, aufgrund fehlender Vereinbarungen mit der Straßenbauverwaltungen Baden-Württemberg 2006, nicht zur Verfügung. Die Ergebnisse des Verfahrens ddg stützen sich somit ausschließlich auf das ddg-eigene stationäre Erfassungssystem (SES).

Beispiel 7, 15.09.2006;  
AS Hohenstadt – AS Merklingen

Am 15.09.2006 herrschten auf der A 8 im Abschnitt AS Hohenstadt – AS Merklingen relativ hohe Verkehrsstärken, es gab aber keine auffälligen Verkehrsstörungen. Der Abschnitt zwischen den Anschlussstellen ist 9 km lang. Die erste stationäre Messstelle (M1) liegt etwa 760 m westlich der AS Hohenstadt. Die Streckenlänge zwischen den sieben relevanten Messstationen beträgt somit insgesamt 9,760 km. Die mittleren, minimalen und maximalen Fahrdauern auf diesem Abschnitt sind für

Fahrtzeit [min]	AS Hohenstadt – AS Merklingen		
	ddg	MAVE-S	EINFACHER ANSATZ
Minimum	4,6	4,6	4,5
Mittelwert	4,7	5,0	5,3
Maximum	5,3	5,7	6,5
Stichprobenumfang	720	720	720
Fahrtzeit hochgerechnet auf die Normstrecke (10 km)			

**Tab. 3.31:** Fahrtzeitenvergleich [min],  
A 8, AS Hohenstadt – AS Merklingen (15.09.2006)

den Zeitbereich von 08:00 Uhr bis 20:00 Uhr in Tabelle 3.31 dargestellt.

Die von den drei Verfahren berechneten Fahrtzeiten differieren auf der fast 10 km langen Strecke mit weniger als einer Minute nur gering. Die Maximalwerte weichen zwar etwas stärker voneinander ab, der absolute Unterschied liegt aber auch nur bei maximal gut einer Minute. Die unterschiedlichen Ergebnisse der Verfahren werden im vorliegenden Beispiel insgesamt als gering eingestuft.

Dieses Ergebnis ist, wegen der schlechteren Datengrundlage beim Verfahren ddg (deutlich weniger stationäre Messquerschnitte), nicht unbedingt zu erwarten gewesen. Es zeigt aber, dass, solange ein ungestörter und gleichmäßiger Verkehrsablauf herrscht, wie er durch die Streckenbeeinflussungsanlage auf der A 8 erzwungen wird, eine verdichtete Datenerfassung für die Qualität der berechneten Fahrtzeiten weniger ausschlaggebend ist.

Beispiel 8, 22.09.2006;  
AS Hohenstadt – AS Merklingen

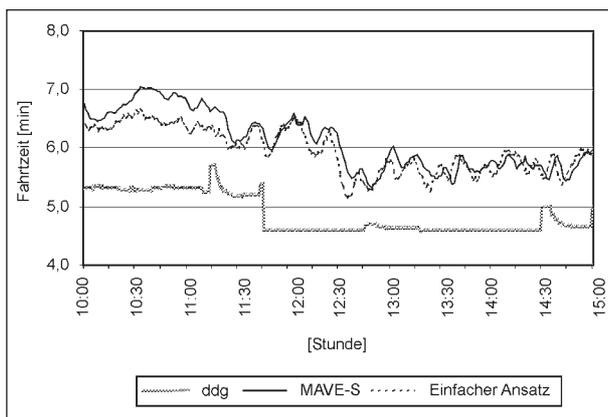
Am 22.09.2006 wurden im Zeitraum von 5:00 Uhr bis 17:00 Uhr für den Abschnitt AS Hohenstadt – AS Merklingen die in Tabelle 3.32 dargestellten minimalen, mittleren und maximalen Fahrtzeiten von den drei Verfahren berechnet.

In Bild 3.21 sind auszugsweise für den Zeitbereich von 10:00 Uhr bis 15:00 Uhr die Fahrtzeiten grafisch aufgetragen.

Der dargestellte Verlauf ist typisch für die Teststrecke A 8. Die vom Verfahren ddg berechneten Fahrtzeiten sind, wie auch aus Tabelle 3.32 ersichtlich, um etwa ein bis zwei Minuten kürzer als die der beiden anderen Verfahren. Die gute Übereinstimmung zwischen dem Verfahren MAVE-S und dem

Fahrzeit [min]	AS Hohenstadt – AK Merklingen		
	ddg	MAVE-S	EINFACHER ANSATZ
Minimum	4,2	5,2	4,5
Mittelwert	5,0	6,2	6,1
Maximum	6,0	7,6	7,6
Stichprobenumfang	720	720	720

**Tab. 3.32:** Fahrzeitenvergleich [min], A 8, AS Hohenstadt – AS Merklingen (22.09.2006)



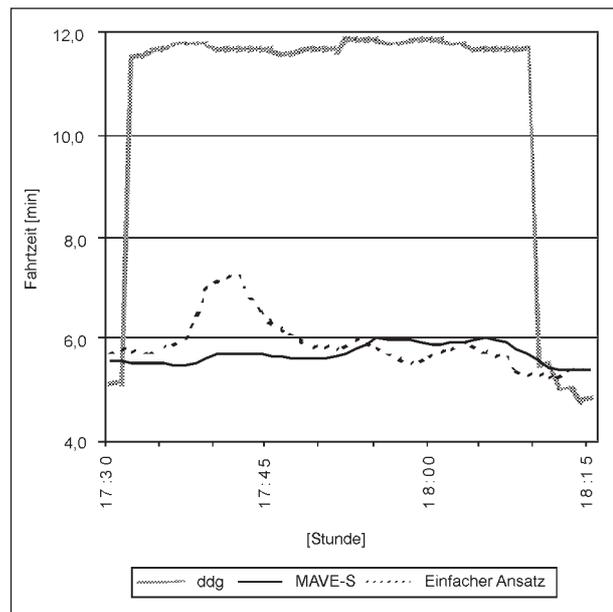
**Bild 3.21:** Fahrzeitenvergleich, A 8, AS Hohenstadt – AS Merklingen (22.09.2006)

Verfahren EINFACHER ANSATZ steht im Zusammenhang mit der Nutzung derselben und relativ dichten Datenbasis.

Die Ursache dafür, dass das Verfahren ddg niedrigere Fahrzeiten ermittelt, liegt in einem, auf den Abschnitt bezogenen, inhomogeneren Verkehrsablauf im Vergleich zum Beispiel 7. Die an den sieben stationären Messstationen erfassten Pkw-Geschwindigkeiten unterliegen einer wesentlich größeren Streuung. Sie beträgt im Mittel knapp 30 km/h. Die Verfahren MAVE-S und EINFACHER ANSATZ nutzen die Daten aller stationären Messquerschnitte und erfassen die kleinräumige Verkehrssituation deshalb besser als das Verfahren ddg, dem nur zwei Sensoren auf diesem Streckenabschnitt zur Verfügung stehen.

Es kann aber auch passieren, dass im Fall einer kleinräumigen Verkehrsstörung, die im direkten Erfassungsbereich eines stationären Messquerschnitts/Sensors liegt, die Fahrzeiten für den gesamten Abschnitt insgesamt überschätzt werden. Das Bild 3.22 zeigt für denselben Streckenabschnitt und für denselben Tag ein entsprechendes Beispiel.

Die vom Verfahren ddg berechneten Fahrzeiten liegen für die Dauer von 40 Minuten um 5 bis 6 Mi-



**Bild 3.22:** Fahrzeitenvergleich [min], A 8, AS Hohenstadt – AS Merklingen (22.09.2006)

nuten höher als die Fahrzeiten der beiden anderen Verfahren.

Bei der Analyse der an den stationären Messquerschnitten erhobenen Pkw-Geschwindigkeiten zeigt sich, dass im entsprechenden Zeitraum Geschwindigkeitsreduktionen und damit Fahrzeitverlängerungen nur an den Messquerschnitten M6 und M7 aufgetreten sind. Die stromabwärtigen stationären Messquerschnitte zeigten keine Geschwindigkeitsverluste mehr. Der Messquerschnitt M7 liegt direkt im Bereich der Anschlussstelle Merklingen, in der sich auch ein Sensor (Nr. 3505) des ddg-eigenen Erfassungssystems SES befindet. Der nächstfolgende SES-Sensor liegt über 7 km weiter stromaufwärts. Die Daten der stationären Messquerschnitte standen dem Verfahren ddg nicht zur Verfügung.

Die im Vergleich zu den beiden übrigen Verfahren deutlich längeren Fahrzeiten des Verfahrens ddg erklären sich dadurch, dass der Einfluss der am Sensor 3505 festgestellten Geschwindigkeitsreduktion auf die Gesamtfahrzeit im Abschnitt AS Merklingen – AS Ulm-West (Länge 17,3 km) überschätzt wird. Dieses wiederum hat seine Ursache in den wesentlich größeren Abständen zwischen den SES-Sensoren als zwischen den stationären Messquerschnitten. Die am Sensor 3505 gemessene niedrige, zutreffende Geschwindigkeit wird (muss) auf einen zu langen Streckenabschnitt bezogen werden. In der Konsequenz ergeben sich offensichtlich zu lange Fahrzeiten.

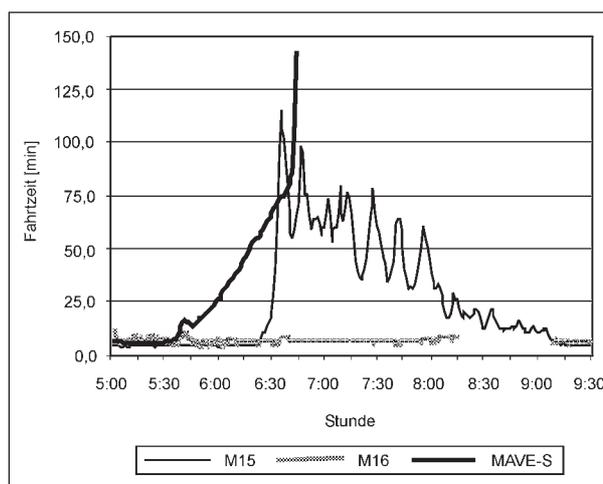
Dieses Beispiel zeigt, dass eine ausreichend dichte Datenerfassung für die Qualität der berechneten Fahrtzeiten immer dann eine große Bedeutung hat, wenn der Verkehrsfluss auf dem Abschnitt weniger gleichmäßig oder gar punktuell gestört ist.

Beispiel 9, 20.09.2006;  
Abschnitt im Bereich der MQ M15 und M16

Im Zuge der Analyse der Daten auf der A 8 zeigte sich, dass das Verfahren MAVE-S Fahrtzeitverlängerungen häufig früher, zum Teil deutlich früher erkennt, als es die Messwerte der stationären Messstellen ausweisen. In Bild 3.23 sind für einen Teilabschnitt zwischen der AS Merklingen und der AS Ulm-West die vom Verfahren MAVE-S gemessenen und die anhand der Pkw-Geschwindigkeiten der in diesem Teilabschnitt liegenden Messquerschnitte M15 sowie M16 abgeleiteten Fahrtzeiten dargestellt. Der Messabschnitt für MAVE-S ist 3,7 km lang. Er reicht vom Querschnitt M 14 bis zum Querschnitt M 16, d. h., er endet etwa 2 km westlich der AS Ulm-West. Die in Bild 3.23 angegebenen Fahrtzeiten sind auf eine 10 km langen Normstrecke hochgerechnet.

Bild 3.23 verdeutlicht beispielhaft, dass das Verfahren MAVE-S erste Reisezeitverlängerungen bereits gegen 5:40 Uhr registriert. Die Reisezeitverlängerung wächst in der nächsten Stunde kontinuierlich an. Am Messquerschnitt M15 wird die Verkehrsstörung erst gegen 6:20 Uhr erkannt, am nicht dargestellten Querschnitt M14 sogar erst gegen 6:45 Uhr. Die hier gemessenen Geschwindigkeiten brechen zu diesem Zeitpunkt so stark ein, dass der Verkehr nahezu still steht. Die an diesem Messquerschnitt abgeleiteten Fahrtzeiten liegen in einem ähnlichen Bereich wie die vom Verfahren MAVE-S gemessenen Fahrtzeiten. Am Messquerschnitt M16 wird die Verkehrsstörung praktisch nicht erkannt. Der Verkehr fließt hier mit einer für den ungehinderten Verkehrsfluss typischen Geschwindigkeit.

Im Vergleich zum Messquerschnitt M15 misst das Verfahren MAVE-S eine stetigere Zunahme der Fahrtzeiten. Es liegt nahe, dass die Störungsquelle zwischen den beiden Messquerschnitten liegt. Mit Beginn der Störung zeigen sich an den Messquerschnitten M15 und M16 noch keine Auswirkungen, die gemessenen Geschwindigkeiten liegen hier noch im Bereich des freien Verkehrsflusses. Die Verkehrsstörung nimmt im Laufe der Zeit zu und macht sich im Bereich des stromaufwärts gelegenen



**Bild 3.23:** Fahrtzeitenvergleich [min], A 8, Abschnitt MQ M15 und MQ M16 (20.09.2006)

nen Messquerschnitts M15 schlagartig (um 06:22 Uhr) bemerkbar. Das Verfahren MAVE-S misst die Fahrtzeit zwischen beiden Messquerschnitten direkt und erkennt deshalb auch geringe Verlängerungen früh.

Die Unterschiede in den berechneten Fahrtzeiten können, wie Bild 3.23 zeigt, sehr groß werden. So liegt um 6:20 Uhr die für den Messquerschnitt M15 berechnete Fahrtzeit bei gut 6 Minuten, während nach dem Verfahren MAVE-S zu diesem Zeitpunkt bereits mehr als 50 Minuten berechnet werden.

#### Ausfälle beim Verfahren MAVE-S

Bild 3.23 zeigt einen weiteren Effekt, der beim Verfahren MAVE-S auf der Teststrecke A 8 mehrfach beobachtet wurde. Die gemessenen Reisezeiten erreichen gegen 6:45 Uhr ihr Maximum, unmittelbar danach liefert das Verfahren keine Reisezeiten mehr beziehungsweise das System fällt aus. Im konkreten Fall dauerte der Ausfall mehrere Stunden an.

Für den Ausfall können zwei Gründen ursächlich sein. Im Fall eines Stop-and-go-Verkehrs oder eines Verkehrsstillsstands können die Fahrzeuge beziehungsweise Fahrzeuggruppen an den einzelnen Messquerschnitten nicht mehr sicher identifiziert werden. Die für eine sichere Identifikation erforderliche Mindestgeschwindigkeit liegt nach Aussagen des System-Herstellers bei etwa 15 km/h. Fällt die mittlere Geschwindigkeit im Messabschnitt darunter, sind Messungen der Reisezeit unzuverlässig oder nicht mehr möglich. Ein zweiter Grund kann in einem technischen Versagen eines Systemteils liegen.

Im Rahmen der Analyse wurden die Ausfälle mit einer Mindestdauer von 5 Minuten ermittelt. Sie sind für den Abschnitt AS Hohenstadt – AS Merklingen in Tabelle 3.33 und für den folgenden Abschnitt bis zur AS Ulm-West in Tabelle 3.34 dargestellt. Der in Bild 3.23 betrachtete Abschnitt entspricht einem Teilbereich des MAVE-S-Messabschnitts MS 7 (vgl. Bild 3.5) in der Tabelle 3.34.

Die in den Tabellen 3.33 und 3.34 angegebenen Ausfallzeiten für die einzelnen Messabschnitte des Verfahrens sind sehr unterschiedlich lang. Als besonders problematisch erweisen sich im Streckenabschnitt AS Merklingen – AS Hohenstadt der Messabschnitt MS 3 und im weiteren Verlauf bis zur AS Ulm-West die MAVE-S-Messabschnitte MS 7 und MS 8. Alle drei Abschnitte sind an mehreren Tagen über Stunden ausgefallen. Ausfälle hat es auf allen betrachteten Messabschnitten gegeben.

Aus Sicht der Eignung der Verfahren für die Angaben von Reisezeiten in dWiSta sind diese Ausfälle problematisch. Zum einen fehlen die Daten für die

Datum	AS Hohenstadt – AS Merklingen Gesamtausfallzeit [min]		
	MS 1	MS 2	MS 3
14.09.2006	38	0	1.436
15.09.2006	29	0	1.436
16.09.2006	46	0	1.436
17.09.2006	70	0	1.330
20.09.2006	66	38	724
22.09.2006	22	0	114
23.09.2006	199	96	116

**Tab. 3.33:** Ausfälle > 5 Minuten, Verfahren MAVE-S, AS Hohenstadt – AS Merklingen

Datum	AS Hohenstadt – AS Ulm-West Gesamtausfallzeit [min]				
	MS 4	MS 5	MS 6	MS 7	MS 8
14.09.2006	2	0	253	1.181	1.413
15.09.2006	10	0	0	1.143	1.436
16.09.2006	98	0	7	927	1.382
17.09.2006	72	0	0	963	1.404
20.09.2006	96	147	333	1.033	1.396
22.09.2006	79	31	355	1.273	1.231
23.09.2006	73	0	19	84	5

**Tab. 3.34:** Ausfälle > 5 Minuten, Verfahren MAVE-S, AS Hohenstadt – AS Ulm-West

Generierung von Reisezeitinformationen, zum anderen ist nicht sicher, ob die berechneten Fahrtzeiten zutreffend sind. Der sprunghafte Anstieg der Fahrtzeit gegen 6:45 Uhr (vgl. Bild 3.23) von rund 80 Minuten auf knapp 150 Minuten ist wenig glaubhaft.

Ausfälle des Systems MAVE-S traten mehrfach bei größeren Verkehrsstörungen auf. Gerade bei Verkehrsstörungen ist aber ein Ausfall eines Berechnungsverfahrens kritisch, da Reisezeitinformationen in dWiSta nur bei Verkehrsstörungen angezeigt werden sollen.

Nach Aussagen des System-Herstellers gab es im September 2006 zeitweise technische Probleme, die Ausfälle bei der Reisezeitmessung begünstigten, zwischenzeitlich aber behoben worden sind. Die derzeitige Verfügbarkeit der Reisezeitmessungen liegt nach Aussagen des Herstellers bei 95 % und höher.

Die auf der A 8 vom Verfahren MAVE-S gemessenen Reisezeiten werden mit zur Steuerung der Streckenbeeinflussungsanlage verwendet. Mit einem Ausfall der Reisezeitmessung ist aber nicht zwangsläufig verbunden, dass am Messquerschnitt generell keine Verkehrskenngrößen mehr erhoben werden können. In der Regel stehen die lokal gemessenen Verkehrskenngrößen ( $q$  und  $v$ ) auch weiterhin zur Verfügung. Fehlende Reisezeitmessungen werden durch Alternativstrategien, in die die lokalen Verkehrskenngrößen einfließen, kompensiert.

Beispiel 10, 20.09.2006;  
AS Merklingen – AS Ulm-West

Im Bild 3.24 sind für den Abschnitt AS Hohenstadt – AS Merklingen die von den Verfahren MAVE-S, ddg und EINFACHER ANSATZ ermittelten und auf die 10 km lange Normstrecke hochgerechneten Fahrtzeiten dargestellt. Die Fahrtzeitverläufe unterscheiden sich, zeitweise deutlich.

Zunächst ist festzustellen, dass Fahrtzeitverlängerungen vom Verfahren MAVE-S erheblich früher bemerkt werden als von den beiden anderen Verfahren. Die kontinuierliche Fahrtzeitzunahme beim Verfahren MAVE-S entspricht dem häufigen Fall, dass sich eine Störung langsam aufbaut, z. B. durch eine stetige Verkehrszunahme, wie sie im dargestellten Zeitbereich unterstellt werden kann (Berufsverkehr).

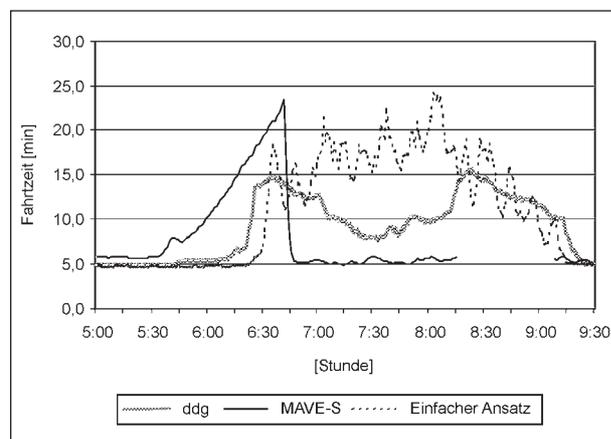
Auffällig ist jedoch, dass nach der maximalen Fahrtzeit (etwa 6:40 Uhr) die vom Verfahren MAVE-S berechneten Fahrtzeiten schlagartig auf den Normalwert abfallen. Dies hängt damit zusammen, dass der für die Fahrtzeitverlängerung maßgebende MAVE-S-Abschnitt ausfiel. In den dann zur Fahrtzeitberechnung herangezogenen beiden, stromaufwärts gelegenen MAVE-S-Messabschnitten war der Verkehrsfluss nicht oder nur wenig gestört. Die auf dieser Grundlage berechneten Fahrtzeiten waren aber nicht mehr repräsentativ für den Gesamtabschnitt, weil die Störung unberücksichtigt blieb.

Das Verfahren EINFACHER ANSATZ weist Fahrtzeitverlängerungen von 10 bis 15 Minuten für mehr als zwei Stunden Dauer aus. Erst gegen 9:15 Uhr hat sich die Verkehrslage auf dem gesamten Abschnitt wieder normalisiert.

Die vom Verfahren EINFACHER ANSATZ ermittelten Fahrtzeiten stützen sich auf neun stationäre Messquerschnitte (Fahrtzeiten von MAVE-S in diesem Fall nur auf zwei MAVE-S-Messabschnitte).

Das Verfahren ddg ermittelt eine ähnlich lange Störungsdauer wie das Verfahren EINFACHER ANSATZ. Die maximalen Fahrtzeitverlängerungen werden vom Verfahren ddg gegenüber dem Verfahren EINFACHER ANSATZ um bis zu 10 Minuten kürzer berechnet. Dieser Unterschied erklärt sich aus der Tatsache, dass für den gesamten Streckenabschnitt lediglich zwei Sensoren Eingangsdaten für die Berechnungen lieferten.

Das Beispiel zeigt deutlich den Einfluss der an den stationären Messquerschnitten erfassten Daten auf die Ergebnisse der Berechnung.



**Bild 3.24:** Fahrtzeitenvergleich, A 8, AS Hohenstadt – AS Merklingen (20.09.2006)

## Schlussfolgerungen

Bei einem ungestörten Verkehrsfluss ist der Abstand der Messstationen für die Güte der berechneten Fahrtzeiten der Berechnungsverfahren weniger ausschlaggebend. Auf der Kontrollstrecke A 8 unterscheiden sich die Fahrtzeiten des Verfahrens ddg, mit einem mittleren Abstand der Messquerschnitte von rund 4 km, kaum von denen der Verfahren MAVE-S und EINFACHER ANSATZ. Beim Verfahren EINFACHER ANSATZ liegt der mittlere Abstand der Messquerschnitte bei weniger als 2 km und beim Verfahren MAVE-S, wie auch beim Verfahren ddg, bei etwa 4 km.

Ändert sich die Verkehrssituation und kommt es zu einem inhomogenen Verkehrsablauf oder gar zu Störungen, weichen die berechneten Fahrtzeiten des Verfahrens ddg auf der Teststrecke A 8 wegen der deutlich längeren Abstände zwischen den einzelnen Sensorstandorten häufiger von denen der beiden übrigen Verfahren ab. Dabei sind sie, dies zeigen die durchgeführten Untersuchungen, sowohl kürzer als auch länger.

Das Verfahren MAVE-S ist in der Lage, die Fahrtzeiten bis zu einer unteren Grenzgeschwindigkeit von etwa 15 km/h mit einer hohen Genauigkeit zu erfassen. Die relativ hohe Ausfallhäufigkeit von Systemkomponenten im Zuge der Teststrecke hat sich als Schwachpunkt erwiesen. Auch wenn die konkreten Fehlerursachen auf der Teststrecke mittlerweile behoben sein sollen, sind Ausfälle, unabhängig vom Verfahren, kritisch zu sehen. Dies gilt bei MAVE-S in noch stärkerem Maße als bei den übrigen Verfahren, weil das Verfahren MAVE-S grundsätzlich größere Abstände zwischen den Messquerschnitten zulässt als die anderen Verfahren. Der Verlust von Informationen auf der Strecke erschwert die Einschätzung der Gesamtsituation. Dies gilt umso mehr, je länger die Streckenabschnitte sind.

### 3.6.4 Teststrecke A 42

#### Vorbemerkung

Auf der Teststrecke A 42 wurden alle in den Test einbezogenen Verfahren OLSIM, ddg, ASDA/FOTO, EINFACHER ANSATZ und MAVE-S eingesetzt. Dabei gilt die Einschränkung, dass das Verfahren MAVE-S nur auf einem Teilstück der Teststrecke, zwischen der AS Castrop-Rauxel-Bladenhorst und dem AK Castrop-Rauxel-Ost installiert war. Die Anschlussstellenfolge auf der Test-

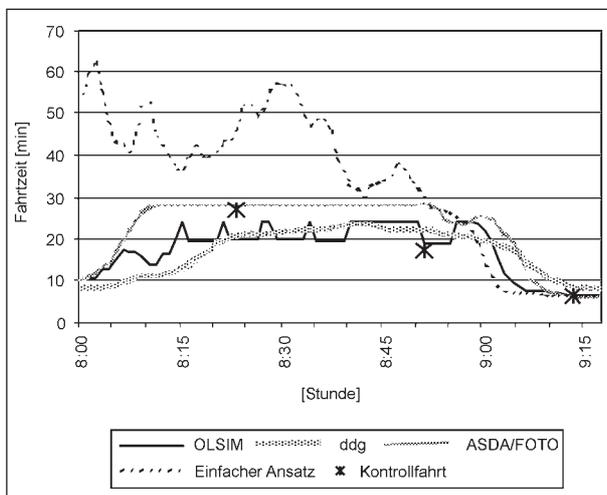
strecke ist mit weniger als zwei Kilometern sehr dicht, zwischen zwei Anschlussstellen befindet sich jeweils etwa mittig eine stationäre Messstelle. Das Verfahren ddg kann zusätzlich auf vier ddg-eigene stationäre Verkehrserfassungssensoren zurückgreifen (siehe Bild 3.6).

Während der gut zweiwöchigen Kontrollbeobachtung herrschte auf der A 42 überwiegend freier Verkehrsfluss. Die von den Verfahren OLSIM und ddg ermittelten Fahrtzeiten liegen überwiegend in gleicher Größenordnung. Damit werden auch die im Rahmen der Kontrollmessungen erzielten Ergebnisse beider Verfahren bestätigt (vgl. Kapitel 3.6.3 und 3.6.4). Die Unterschiede in den ermittelten Fahrtzeiten auf der 10 km langen Normstrecke liegen meist deutlich unter einer Minute. Dies gilt auch für die Verfahren ASDA/FOTO und EINFACHER ANSATZ.

Trotz der guten Übereinstimmung der Ergebnisse der Verfahren gibt es auch Zeitbereiche, in denen größere Abweichungen bei der Fahrtzeitermittlung auftreten. Auf zwei Beispiele wird nachfolgend näher eingegangen.

Beispiel 11, 18.09.2006;  
AS Castrop-Rauxel – AK Castrop-Rauxel-Ost

Am 18.09.2006 kam es auf dem Abschnitt AS Castrop-Rauxel – AK Castrop-Rauxel-Ost in der Zeit von 8:00 Uhr bis 9:00 Uhr zu einer etwa einstündigen Verkehrsstörung, die von allen vier Verfahren erkannt wurde. Die von den Verfahren ermittelten Fahrtzeiten für diesen Zeitbereich sind in Bild 3.25, hochgerechnet auf die 10 km lange Normstrecke,



**Bild 3.25:** Hochgerechnete Fahrtzeiten A 42, AS Cas.-Rauxel – AK Cas.-Rauxel-Ost (18.09.2006)

dargestellt. Bei einem ungestörten Verkehrsfluss liegt die Fahrtzeit bei 6 Minuten (100 km/h).

Die von den Verfahren OLSIM und ddg ermittelten Fahrtzeiten unterscheiden sich nur wenig. Der Mittelwert (Betrachtungszeitraum 8:00 Uhr bis 9:10 Uhr) liegt beim Verfahren ddg mit 18,5 Minuten nur eine halbe Minute höher als beim Verfahren OLSIM. Allerdings wird, verglichen mit dem Verfahren OLSIM, der starke Anstieg der Störung beim Verfahren ddg etwa 5 bis 10 Minuten später erkannt und hält auch um diese Zeitspanne länger an.

Die vom Verfahren ASDA/FOTO ermittelten Fahrtzeiten liegen im Mittel um etwa 6 Minuten über denen des Verfahrens OLSIM beziehungsweise 6,5 Minuten über denen des Verfahrens ddg. Beginn und Ende des Anstiegs der Größe der Verkehrsstörung werden vom Verfahren ASDA/FOTO etwa zum gleichen Zeitpunkt wie beim Verfahren OLSIM detektiert.

Einen gänzlich anderen Verlauf der Verkehrsstörung ergibt das Verfahren EINFACHER ANSATZ, in dem die am Messquerschnitt MQ 0562o gemessene Pkw-Geschwindigkeit auf den gesamten Abschnitt übertragen wird. Demnach beträgt die Fahrtzeit auf dem Abschnitt bereits um 8:00 Uhr etwa 60 Minuten und nimmt im weiteren Verlauf in unterschiedlichem Umfang ab. Das zeitliche Ende der Verkehrsstörung wird auch vom Verfahren EINFACHER ANSATZ übereinstimmend mit den anderen Verfahren erkannt.

Während der Verkehrsstörung fanden mehrere Kontrollfahrten statt (siehe Bild 3.25), die in Tabelle 3.35 näher beschrieben sind. Sie bestätigen grundsätzlich die Ergebnisse der Verfahren OLSIM, ddg und ASDA/FOTO.

Kontrollfahrt	AS Castrop-Rauxel – AK Castrop-Rauxel		
	Fahrtzeit* [min]	V-Mittel [km/h]	V-Min [km/h]
07:16**)	7,4	81,3	66
07:56	14,1	42,5	6
08:23	27,0	22,2	7
08:51	17,3	34,6	13
09:13	6,5	92	94

\*) Fahrtzeit hochgerechnet auf die Normstrecke (10 km)  
\*\*) Uhrzeit bei Einfahrt in den Abschnitt

**Tab. 3.35:** Kontrollfahrten A 42, AS Cas.-Rauxel – AK Cas.-Rauxel (18.09.2006)

Nach dem Verlauf und der Größe der vom Verfahren EINFACHER ANSATZ ermittelten Fahrtzeiten trat gegen 08:30 Uhr eine sehr große Verkehrsstörung auf, die sehr lange Fahrtzeiten nach sich zog. Diese langen Fahrtzeiten werden von keinem anderen Verfahren und auch von keiner während der Störung stattgefundenen Kontrollfahrten widerspiegelt.

Die Ursache hierfür liegt darin, dass im Bereich der stationären Messstelle die minimalen Geschwindigkeiten aufgetreten sind. Bei der einfachen Nutzung der lokal gemessenen Geschwindigkeit, als repräsentative Geschwindigkeit für den Gesamtabschnitt, werden die minimalen Geschwindigkeiten im Bereich des stationären Messquerschnitts in diesem Beispiel überbewertet, da die Verkehrsstörung nur einen Teilbereich des Gesamtabschnitts erfasste. Die Folge davon sind zu hohe Fahrtzeiten. Die vom Verfahren EINFACHER ANSATZ ermittelten Geschwindigkeiten wären in diesem Fall weniger geeignet, um als Reisezeitanzeigen in dWiSta verwendet zu werden.

Die Fahrtzeit der Kontrollfahrt um 8:23 Uhr (27 Minuten) wird von den Verfahren OLSIM und ddg um etwa 7 Minuten unterschritten. Demgegenüber entspricht die vom Verfahren ASDA/FOTO berechnete Fahrtzeit der der Kontrollfahrt. Gegen Ende der Verkehrsstörung kommt es zu einem umgekehrten Ergebnis. Die Kontrollfahrt (8:51 Uhr) bestätigt die von den Verfahren OLSIM und ddg ermittelten Fahrtzeiten, während die vom Verfahren ASDA/FOTO berechnete Fahrtzeit um etwa 9 Minuten unter der Kontrollfahrtzeit liegt.

Die relativ großen Abweichungen in den Fahrtzeiten (bis zu 30 %) der drei Verfahren, lässt man das Verfahren EINFACHER ANSATZ außer Acht, deuten an, dass die Zuverlässigkeit der berechneten Reisezeiten bei Verkehrsstörungen noch verbessert werden sollte. Fahrtzeitunterschiede von 8 Minuten können bei der Wahl für bzw. gegen die Empfehlung einer Alternativroute bedeutsam sein.

Hinweise darauf, welches der drei Verfahren Vorteile gegenüber den andern Verfahren hat, lassen sich aufgrund zu geringer Kontrollwerte aber nicht ziehen.

Beispiel 12, 23.10.2006; Baustelle im Abschnitt AS Herne-Baukau – AS Herne-Horsthausen

Am 23.10.2006 wurde im Abschnitt Herne-Baukau – Herne-Horsthausen gegen Mittag eine Baustelle

eingerrichtet. Es wurde der Hauptfahrstreifen gesperrt, sodass der gesamte Verkehr die Baustelle auf dem Überholfahrstreifen passieren musste. Während der Baumaßnahme herrschte zeitweise starker Regen. Die von den Verfahren OLSIM, ddg, ASDA/FOTO und EINFACHER ANSATZ ermittelten Fahrtzeiten für diesen Zeitbereich sind in Bild 3.26, hochgerechnet auf die 10 km lange Normstrecke, dargestellt. Bei einem ungestörten Verkehrsfluss würde die Fahrtzeit bei 6 Minuten (100 km/h) liegen.

Alle Verfahren erkennen die durch die Baustelle bedingte Verkehrsstörung. Allerdings sind zwischen den einzelnen Verfahren zum Teil große Abweichungen der berechneten Fahrtzeiten festzustellen.

Das Verfahren ddg erkennt, wie auch schon im vorherigen Beispiel, die Verkehrsstörung und die dadurch bedingte Fahrtzeitverlängerung im Vergleich zu den übrigen Verfahren um etwa 10 bis 15 Minuten zeitversetzt. Die Fahrtzeiten des Verfahrens ddg liegen, mit wenigen Ausnahmen, unter denen der anderen Verfahren. Meistens ist der Abstand groß und kann in Extremfällen über 20 Minuten betragen.

Verglichen mit den Fahrtzeitverläufen der anderen Verfahren sind die vom Verfahren ddg berechneten Zeiten relativ stetig. Die drei übrigen Verfahren weisen dagegen innerhalb kurzer Zeiträume große Unterschiede bei den berechneten Fahrtzeiten auf. So fallen beispielsweise beim Verfahren ASDA/FOTO gegen 14:00 Uhr die berechneten Zeiten innerhalb weniger Minuten von 40 Minuten auf 20 Minuten ab, um kurz darauf wiederum auf 40 Minuten anzu-

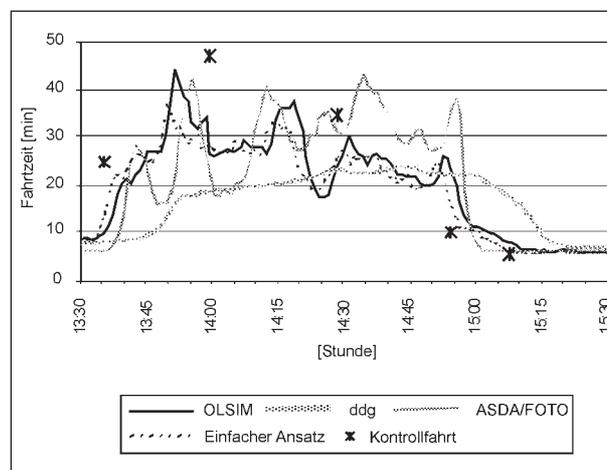


Bild 3.26: Hochgerechnete Fahrtzeiten A 42, AS H.-Baukau – AS-H.-Horsthausen (23.10.2006)

Kontrollfahrt	AS H.-Baukau – AS-H.-Horsthauen		
	Fahrtzeit* [min]	V-Mittel [km/h]	V-Min [km/h]
13:12	7,6	79,1	50
13:35	24,8	24,2	1
13:59	46,9	12,8	0
14:28	34,6	17,4	4
14:54	10,1	59,3	6
15:16	5,7	104,7	102

\*) Fahrtzeit hochgerechnet auf die Normstrecke (10 km)

**Tab. 3.36:** Kontrollfahrten A 42,  
AS H.-Baukau – AS-H.-Horsthauen (23.10.2006)

steigen. Auch die Fahrtzeitverläufe der Verfahren OLSIM und EINFACHER ANSATZ schwanken, wenn auch nicht im gleichen Maße wie beim Verfahren ASDA/FOTO.

Auffällig bei den Fahrtzeitverläufen ist, dass die Fahrtzeiten der Verfahren OLSIM und EINFACHER ANSATZ sehr gut übereinstimmen. Diese gute Übereinstimmung zwischen beiden Verfahren findet sich auch in vielen anderen Zeitbereichen wieder.

Die von den Verfahren ermittelten maximalen Fahrtzeiten werden durch die durchgeführten Kontrollfahrten grundsätzlich bestätigt (siehe Tabelle 3.36).

Bei der Kontrollfahrt um 13:59 Uhr wurde als maximale Fahrtzeit eine Dauer von knapp 47 Minuten ermittelt. Die Werte der vorherigen und nachfolgenden Kontrollfahrt kommen mit 25 beziehungsweise 35 Minuten den Ergebnissen der Verfahren OLSIM, ASDA/FOTO und EINFACHER ANSATZ näher als denen des Verfahrens ddg.

Aus Sicht der Anzeige von Reisezeitinformationen in dWiSta sind allerdings die großen Schwankungen der berechneten Reisezeiten nicht ganz unproblematisch. Die zum Teil sehr großen Fahrtzeitunterschiede innerhalb weniger Minuten könnten dazu führen, dass bei einer konstanten Reisezeit auf der Alternativroute mal die Alternativroute und mal die Hauptroute günstiger wären. Bei einer konsequenten Anwendung der Reisezeitinformationen müsste dann in den dWiSta die Umleitungsempfehlung für wenige Minuten angezeigt und dann wieder ausgeblendet werden. Dieser Vorgang könnte sich mehrfach wiederholen.

## Schlussfolgerungen

Die Teststrecke A 42 unterscheidet sich in ihrer Charakteristik von den beiden übrigen. Einerseits sind die Anschlussstellenabstände mit rund 2 km sehr gering und andererseits gibt es in jedem Streckenabschnitt (von Anschlussstelle zu Anschlussstelle) jeweils nur einen Messquerschnitt. Der Abstand zwischen den einzelnen Messquerschnitten entspricht damit etwa dem Anschlussstellenabstand. Obwohl die Messquerschnitte nicht übermäßig weit auseinander liegen, zeigt sich, dass unter bestimmten Voraussetzungen die Verkehrssituation nicht oder nur ungenügend erkannt wird. Dies betrifft insbesondere das Verfahren EINFACHER ANSATZ, das die lokal gemessene Geschwindigkeit an einem Messquerschnitt als repräsentativ für den Streckenabschnitt unterstellt. Trifft dies nicht zu, weil z. B. die Verkehrsstörung das Geschwindigkeitsverhalten nur auf einem Teilabschnitt beeinflusst, werden zu lange Fahrtzeiten berechnet. Diese Gefahr ist auf den übrigen Teststrecken nicht in gleichem Maße gegeben, da die maßgebende Fahrtzeit auf einem Streckenabschnitt als Summe der Fahrtzeiten auf den einzelnen Teilabschnitten errechnet wird. Eine fehlerhafte Fahrtzeit eines Teilabschnitts wirkt sich bei der Summenbildung für den Gesamtabschnitt (von AS zu AS) weniger gravierend aus als im Fall der A 42, wo ein Gesamtabschnitt nur aus einem Teilabschnitt besteht.

Die Verfahren OLSIM und ddg berechnen sowohl bei gestörtem als auch ungestörtem Verkehrsfluss Fahrtzeiten in ähnlicher Größenordnung. Wie auch bei den anderen Teststrecken zeigt sich beim Verfahren ddg, dass Fahrtzeitverlängerungen im Vergleich zum Verfahren OLSIM zeitlich etwas später einsetzen, dafür aber etwas länger anhalten.

Bei beiden Verfahren zeigt sich überwiegend eine Affinität der berechneten Fahrtzeiten zu den anhand der lokal gemessenen Geschwindigkeiten abgeleiteten Fahrtzeiten.

## 3.7 Fahrtzeitangaben bei gestautem Verkehr

Bei gestörtem Verkehrsfluss sind bei der Fahrtzeitberechnung zwei Fälle zu unterscheiden. Im Fall 1 sind alle Fahrstreifen einer Richtungsfahrbahn von der Verkehrsstörung etwa in gleichem Maße betroffen. Im Fall 2 stellt sich auf den einzelnen Fahrstreifen ein sehr unterschiedlicher Verkehrsablauf

ein. Die daraus resultierenden Konsequenzen für die Fahrzeitberechnung werden nachfolgend erläutert.

#### Fall 1 – Stau über den gesamten Fahrbahnquerschnitt

Bei einem gestörten Verkehrsfluss sinkt das Geschwindigkeitsniveau stark ab, die Geschwindigkeit liegt gemäß MARZ unter 30 km/h. Die Messung niedriger Geschwindigkeiten durch Induktivschleifen stellt kein generelles Problem dar. Allerdings schwanken die gemessenen Geschwindigkeiten bei gestörtem oder gar gestautem Verkehr mehr als bei hohen Geschwindigkeiten, dies zeigen die Daten der stationären Messquerschnitte, insbesondere bei Stop-and-go-Verkehr, bei dem Geschwindigkeiten von 0 bis 30 km/h auftreten. Geschwindigkeitsunterschiede von 100 % (oder mehr) zwischen zwei aufeinander folgenden Messungen (Minutenintervallen) sind keine Seltenheit. Auch wenn relativ kleine Geschwindigkeitsunterschiede zunächst unkritisch erscheinen, können sie die berechneten Fahrzeiten, absolut gesehen, stark beeinflussen. Bei lokal erfassten Geschwindigkeiten von beispielsweise 24 km/h und 12 km/h, deren Gültigkeit für den folgenden Streckenabschnitt unterstellt ist, verdoppelt sich die Fahrzeit. Bezogen auf die 10 km lange Normstrecke beträgt die Fahrzeit im ersten Fall 50 min, im zweiten dagegen „nur“ noch 25 min. Selbst bei einem deutlich kürzeren Streckenabschnitt als die unterstellten 10 km ergeben sich hohe Fahrzeitunterschiede, die die Empfehlung einer Alternativroute möglicherweise erschweren.

Ein weiteres Problem entsteht, wenn der Verkehrsfluss vollständig zum Stehen kommt. Die Berechnungsverfahren müssen zunächst erkennen, ob die am Messquerschnitt bereitgestellten Daten ( $Q = 0$ ,  $V = 0$ ) richtig sind oder auf einer Detektorstörung beruhen. Denkbar ist zum Beispiel, dass der Verkehr über den Standstreifen geführt wird und deshalb keine Verkehrskenngrößen über die Induktivschleifen ermittelt werden. Unterstellt man, dass die Berechnungsverfahren Detektorstörungen zuverlässig erkennen und diese Daten nicht verwenden, bleibt die Frage offen, wie die Berechnungsverfahren das Problem inhaltlich lösen, wenn ein Messquerschnitt „ $Q = 0$  und  $V = 0$ “ meldet.

In einem Netzabschnitt können Fahrzeuge trotz eines Verkehrstillstands, der zunächst örtlich begrenzt ist, bis zu einem Grenzeitpunkt stromauf-

wärts/stromabwärts des Störungsortes noch fließen. Die Berechnung von Fahrzeiten ist möglich, da entsprechende Verkehrskenngrößen der stationären Messquerschnitte vorliegen. Die Ausgabe einer solchen Fahrzeit wäre aber nicht sinnvoll, weil Verkehrsteilnehmer über dWiSta stromaufwärts des Störungsortes informiert werden und das Passieren des Störungsortes nicht möglich ist.

Das bedeutet, dass bereits bei nur einer Messquerschnittsmeldung „ $Q = 0$  und  $V = 0$ “, auch wenn die übrigen Messstellen (noch) fließenden Verkehr melden, die berechneten Fahrzeiten für die Anzeige in dWiSta problematisch oder nicht mehr nutzbar sind. Solche Fälle sollten von den Berechnungsverfahren erkannt werden können, entsprechend gekennzeichnet und bei der Schaltung von Reisezeitinformationen berücksichtigt werden. Um zu verhindern, dass bei Stop-and-go-Verkehr kurzfristig Fahrzeiten berechnet und dann wieder nicht berechnet werden, ist es zweckmäßig, eine zeitliche Mindestdauer, z. B. drei Minuten, für den Verkehrszustand „stehend“ und „fließend“ zu definieren.

Wenn für einen Streckenabschnitt keine Fahrzeit ermittelt werden kann, ist eine Anzeige von Reisezeitinformationen in dWiSta mit „x-Minuten-Gewinn“ nicht mehr möglich, weil der entsprechende Vergleichswert nicht zur Verfügung steht. Die alleinige Anzeige einer Fahrzeit auf der Alternativroute wird als nicht sinnvoll erachtet. Im Fall, dass die Strecke nicht mehr passierbar ist, sollte anstelle der Staulänge in dWiSta angezeigt werden, dass der Verkehr hinter der Anschlussstelle x zum Erliegen gekommen ist. Auf Fahrzeitangaben sollte in diesem Fall ganz verzichtet werden.

Es ist nicht bekannt, wie die Verfahren im Einzelnen auf die genannten Problemfelder reagieren. Die im Kapitel 3.6 zusammengestellten Beispiele zeigen, dass bei gestörtem Verkehrsfluss die berechneten Fahrzeiten eines Verfahrens höher und niedriger sein können als bei einem zweiten Verfahren, ohne dass darin eine „Regelmäßigkeit“ erkannt wurde. Dies zeigt, dass für eine abschließende Beurteilung der Verfahren bei gestörtem Verkehrsfluss die analysierten Daten und angetroffenen Verkehrszustände im Praxistest nicht ausreichen.

#### Fall 2 – Stau nur auf einzelnen Fahrstreifen

Probleme bei der Fahrzeitermittlung können dann eintreten, wenn der Verkehrsfluss auf den einzelnen Fahrstreifen sehr unterschiedlich ist. Dies kann z. B. dann der Fall sein, wenn sich auf dem rechten

Fahrstreifen, infolge eines ungenügenden Abflusses an einer Anschlussstelle, ein Rückstau bildet. In einem solchen Fall kann die Geschwindigkeit auf dem rechten Fahrstreifen sehr stark absinken, während sie auf dem Überholfahrstreifen deutlich höher liegt. Mit der Anzahl der Fahrstreifen wachsen auch die Geschwindigkeitsdifferenzen auf den einzelnen Fahrstreifen an. So lagen beispielsweise die Geschwindigkeiten auf der A 42 am 23.10.2007 während des Staus nördlich der AS Castrop-Rauxel im Mittel um Faktor 2,4 unter denen auf dem Hauptfahrstreifen. Eine vergleichbare Situation ergab sich auch auf der A 5 vor der Ausfahrt AK Bad Homburg (siehe Beispiel 2 in Kapitel 3.6.2). Während auf dem rechten Fahrstreifen zeitweise nur noch 10 km/h gefahren werden konnte, lagen sie auf dem mittleren deutlich über 50 km/h und auf dem linken sogar deutlich über 70 km/h.

Fahrzeuge, die einen Netzabschnitt ohne Abbiegen durchfahren, nutzen normalerweise den mittleren oder den linken Fahrstreifen. Von den sehr niedrigen Geschwindigkeiten, das heißt sehr langen Fahrtzeiten, auf dem rechten Fahrstreifen sind sie nicht betroffen. Die Zusammenführung der fahrstreifenbezogenen Einzelgeschwindigkeiten zu einer mittleren Pkw-Geschwindigkeit für den Gesamtquerschnitt führt dazu, dass sich für Durchfahrer zu niedrige Geschwindigkeiten und damit zu lange Fahrtzeiten ergeben. Für abbiegende Verkehrsteilnehmer stellt sich die Situation genau andersherum dar. Damit wird für beide Ströme prinzipiell eine unzutreffende Fahrtzeit ermittelt, die, wie nachfolgendes Berechnungsbeispiel zeigt, eine durchaus nennenswerte Größe erreichen kann.

Wird beispielsweise an einem Messquerschnitt auf dem rechten Fahrstreifen während einer Minute nur ein Fahrzeug mit einer Geschwindigkeit von 10 km/h detektiert und passieren auf dem Überholfahrstreifen in derselben Zeit fünf Fahrzeuge mit einer Geschwindigkeit von jeweils 50 km/h den Messquerschnitt, beträgt die resultierende Geschwindigkeit aller Fahrzeuge genau 30 km/h. Die Fahrtzeiten auf der 10 km langen Normstrecke betragen bei 10 km/h 60 Minuten, bei 30 km/h 20 Minuten und bei 50 km/h 12 Minuten. Für durchfahrende Kraftfahrer auf dem Überholfahrstreifen würden in diesem Fall, bei einer Einbeziehung beider fahrstreifenbezogenen Messgeschwindigkeiten, eine um 8 Minuten zu hohe Fahrtzeit und für abbiegende Kraftfahrer sogar eine Unterschätzung von 40 Minuten ermittelt. Auch bei einer deutlich kürzeren Bezugslänge ergeben sich beachtliche Fehleinschätzungen der Fahrtzeiten.

Im Hinblick auf die Anzeige von Reisezeitinformationen in dWiSta ist es deshalb wünschenswert, solche Einflüsse zu erkennen und zu berücksichtigen. Dies ist insbesondere bei abzweigenden Alternativrouten an Autobahndreiecken und Autobahnkreuzen wichtig, wenn sich ein zum durchgehenden Verkehrsstrom anderer Verkehrsfluss einstellt. Solche neuralgischen Punkte im Autobahnnetz sind üblicherweise bekannt. Sollte eine Berechnung von zwei entsprechenden Fahrtzeiten für einen Streckenabschnitt (durchgehender Strom und abbiegender Strom) nicht möglich sein, bietet es sich an, die für den Gesamtquerschnitt berechneten Fahrtzeiten durch empirisch ermittelte Zu- und Abschläge zu korrigieren.

### 3.8 Datenausfälle stationärer Messstellen und Datenersatzverfahren

#### Verfahren OLSIM und d dg

Beide Verfahren stützen sich bei der Fahrtzeitberechnung auf Verkehrsmodellrechnungen, deren verkehrliche Eingangsdaten zu großen Teilen stationär erfasste Verkehrskenngrößen sind. Die Verfahren verfügen darüber hinaus über umfangreiche historische Ganglinien, die den Verkehrsfluss auf einzelnen Streckenabschnitten zeitbezogen und für unterschiedliche Verkehrszustände widerspiegeln. Die historischen Ganglinien werden innerhalb des Verfahrens selbst gebildet und permanent durch die aktuellen Messdaten fortgeschrieben.

Ausfälle einzelner Messquerschnitte können gut kompensiert werden, wenn der momentan vorherrschende Verkehrszustand sicher erkannt und die „richtige“ historische Ganglinie gewählt wird. Bei einer dichten Messquerschnittsfolge und stabilem Verkehrsfluss ist dies meist gut möglich.

Mit zunehmenden Messquerschnittsabständen und/oder bei wechselnden Verkehrszuständen sowie bei gestörtem Verkehrsfluss erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass die gewählte Ganglinie das momentane Verkehrsgeschehen nicht richtig wiedergibt und deshalb im Störfall unzutreffende Fahrtzeiten berechnet werden. Dies zeigt das Beispiel auf der A 42 am 23.10.2007. Der während des Ausfalls des Messquerschnitts MQ 0562o aufgetretene Stau wurde von beiden Verfahren nicht bzw. nur unzulänglich in den berechneten Fahrtzeiten widergespiegelt (siehe hierzu auch Kapitel 3.5.3 und 3.5.4). Im konkreten Fall ist nicht bekannt, ob bei dem Ausfall überhaupt Datenersatzverfahren ange-

wendet wurden. Sind sie angewendet worden, war die Auswahl der historischen Ganglinien falsch, weil die berechneten Fahrtzeiten zu kurz sind. Sind die ausgefallenen Daten nicht ersetzt worden, wäre im Beispiel die Störung ebenfalls nicht erkannt worden und die berechneten Fahrtzeiten ebenfalls zu kurz.

Die Datenlage lässt eine belastbare Aussage hinsichtlich dessen nicht zu, ob es bei Ausfall eines Messquerschnitts günstiger ist, generell auf diese Daten zu verzichten oder sie durch historische Ganglinien zu ersetzen. Bei Diskussionen mit Experten wurden die Ersatzverfahren mittels historischer Ganglinien gegenüber einem generellen Verzicht auf ein Datenersatzverfahren überwiegend als vorteilhafter eingestuft.

### **Verfahren ASDA/FOTO**

Beim Verfahren ASDA/FOTO ist es verfahrenstechnisch möglich, den Datenausfall einer Messstation durch historische Ganglinien zu kompensieren. Bei stabilen Verkehrsverhältnissen und der richtig gewählten historischen Ganglinie werden, wie auch bei den zuvor beschriebenen Verfahren, positive Effekte durch das Ersatzverfahren vermutet.

Bei einem gestörten Verkehrsablauf wird bei ASDA/FOTO ein entsprechendes Datenersatzverfahren zumindest als problematisch eingestuft, weil bei der Verarbeitung beziehungsweise beim verfahrensinternen Vergleich der  $q$ - und  $v$ -Werte benachbarter Messquerschnitte aktuelle Messdaten und historische Daten miteinander vermischt werden. Das Verfahren ASDA/FOTO nutzt aber gerade den direkten Vergleich der Kennwerte benachbarter Messquerschnitte zur Störungserkennung und zur Berechnung des Störungsverlaufs. Im Verfahren ASDA/FOTO müssen deshalb hohe Anforderungen an die Übereinstimmung der Ganglinie mit der aktuellen Verkehrssituation gestellt werden.

Ob der Einsatz eines Datenersatzverfahrens beim Verfahren ASDA/FOTO insgesamt die Fahrtzeitberechnung verbessert, kann anhand des vorliegenden Datenmaterials aber nicht beurteilt werden.

### **Verfahren EINFACHER ANSATZ**

Charakteristisch für das Verfahren EINFACHER ANSATZ ist, dass der Daten- und Rechenaufwand minimiert ist. Wie auch bei den vorgenannten Verfahren wäre bei einem Datenausfall grundsätzlich auch ein Datenersatz mittels historischer Gangli-

nien denkbar. Dabei gelten auch die oben genannten Aussagen zur Problematik der richtigen Auswahl der Ganglinie auch beim Verfahren EINFACHER ANSATZ.

Der Einbau eines Datenersatzverfahrens würde aber bedeuten, dass ein erheblicher Aufwand für die Erarbeitung und Pflege sowie für die Auswahl einer jeweils auf den Verkehrszustand zugeschnittenen historischen Ganglinie notwendig wird. Der Aufwand hierfür übersteigt den eigentlichen Berechnungsaufwand um ein Vielfaches.

Mögliche Verbesserungen durch eine Implementierung entsprechender Ersatzverfahren wurden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nicht untersucht.

### **Verfahren MAVE-S**

Beim Verfahren MAVE-S ist bei einem Datenausfall die Messung der Fahrtzeit nicht mehr ohne aufwändige Hilfstechiken möglich, weil dieses Verfahren gerade darauf beruht, Daten zweier benachbarter Messstationen miteinander zu vergleichen. Datenersatzverfahren für eine ausgefallene Messstation sind prinzipiell nicht möglich, da das Verfahren zur Wiedererkennung der Fahrzeuge die originären Schleifendaten (Verstimmungskurven) benötigt. Ein Datenausfall an einer Station führt deshalb systembedingt dazu, dass die Fahrzeuge auf dem betroffenen Abschnitt nicht mehr wiedererkannt und deshalb auch keine Fahrtzeiten gemessen werden können.

Im Hinblick auf die Ermittlung von Fahrtzeiten auf größeren Streckenabschnitten bedeutet der Ausfall einer Teilstrecke aber nicht zwangsläufig, dass Fahrtzeiten generell nicht mehr verfügbar sind. Bei mehreren, hintereinander geschalteten MAVE-S-Teilabschnitten könnte beispielsweise ein neuer, beide Teilabschnitte umfassender Abschnitt gebildet und als Basis für die Fahrtzeitermessung genommen werden.

Ist der Systemausfall durch eine Störung der Datenübertragung zwischen benachbarten Messquerschnitten bedingt, stehen die am Messquerschnitt erhobenen Verkehrskenngrößen ( $q$ ,  $v$  usw.) weiterhin zur Verfügung. Fahrtzeiten können daraus mit Ersatzverfahren, zum Beispiel analog dem Verfahren EINFACHER ANSATZ, abgeleitet werden.

Im letzten Ansatz geht zwar der spezifische Vorteil des Verfahrens MAVE-S, das Erkennen einer Ver-

kehrsstörung anhand überdurchschnittlich langer Fahrtzeiten auf einem Teilabschnitt, verloren, Aussagen zur Fahrtzeit wären für den gesamten Streckenabschnitt aber noch möglich, wenn auch mit geminderter Qualität.

### 3.9 Prognosefähigkeit der Verfahren

Alle Verfahren berechnen (zunächst) die Fahrtzeiten für alle betrachteten Netzabschnitte (von AS zu AS) zum derzeit aktuellen Zeitpunkt  $t_a$ . Die gesamte Fahrtzeit auf einem Autobahnabschnitt (von AK/AD zu AK/AD) ergibt sich als Summe der Fahrtzeiten der einzelnen Netzabschnitte zum Zeitpunkt  $t_a$ . Bei langen Abschnitten sind Fahrtzeiten von 20 oder mehr Minuten bereits bei einem freien, das heißt ungestörten Verkehrsfluss leicht möglich und können bei dichtem oder zähflüssigem Verkehr stark anwachsen.

Bei längeren Haupt- und Alternativrouten mit entsprechend hohen Fahrtzeiten kann es vorkommen, dass sich die Verkehrssituation während der Fahrtdauer ändert. Dabei stehen nicht zufällige Ereignisse, wie beispielsweise Unfälle, im Vordergrund der Betrachtung, sondern vorhersehbare Situationen, z. B. einsetzender Berufsverkehr oder stärkerer Veranstaltungsverkehr. Die veränderte Verkehrssituation führt zu anderen Fahrtzeiten, eine auf Basis der Fahrzeitermittlung gegebene Umleitungsempfehlung könnte sich als unzuverlässig erweisen.

Unter diesem Aspekt wäre es sinnvoll, insbesondere bei langen Autobahnabschnitten, auch eine prognostische Fahrzeitermittlung durchzuführen und diese mit der aktuellen abzugleichen. Ziel der Überprüfung ist es festzustellen, ob die aktuelle Umleitungsempfehlung auch zukünftig Bestand hat. Eine solche Vorgehensweise erfordert historische Ganglinien, anhand derer das zukünftige Verkehrsgeschehen abgeschätzt werden kann. Die Verwendung historischer Ganglinien ist allerdings, wie im Kapitel 3.8 dargelegt, gerade im Fall von Verkehrsstörungen nicht ganz unproblematisch.

Das Verfahren OLSIM beinhaltet bereits Aussagen zur zukünftigen Verkehrslage in 30 oder 60 Minuten. Diese Daten könnten direkt für den Vergleich herangezogen werden. Beim Verfahren ddg sind prognostische Fahrtzeitberechnungen in der Entwicklung. Auch das Verfahren ASDA/FOTO kann, laut Aussage der Firma PTV (Vertreiber der Soft-

ware), mit historischen Daten versorgt werden und darüber prognostische Fahrtzeiten ermitteln.

Die Güte der prognostisch berechneten Fahrtzeiten ist davon abhängig, ob bei der Auswahl der historischen Ganglinien die aktuelle Verkehrssituation angemessen berücksichtigt wird. Diese Forderung gilt umso mehr, wenn bereits akute Beeinträchtigungen im Verkehrsablauf vorhanden sind. Über das Auswahlverfahren und gegebenenfalls notwendige Anpassungen von historischen Ganglinien liegen für die einzelnen Verfahren keine näheren Informationen vor.

Beim Verfahren MAVE-S, das auf die originären Rohdaten der Induktivschleifen angewiesen ist, um entsprechende Verstimmungskurven zu ermitteln, sind prognostische Aussagen nicht möglich. Denkbar ist, dass für Prognosezwecke anstelle einer Berechnung der Fahrtzeiten auf empirisch gewonnene Fahrtzeiten zurückgegriffen wird. Damit würden allerdings die spezifischen Charakteristika des Verfahrens verloren gehen.

Bei dem Verfahren EINFACHER ANSATZ ist eine Verwendung historischer Ganglinien zu Prognosezwecken zwar grundsätzlich möglich, der damit verbundene Aufwand übersteigt jedoch, wie auch im Fall der Einspielung historischer Ganglinien zu Datenersatzzwecken, die eigentliche Fahrtzeitberechnung bei weitem.

Keines der fünf untersuchten Verfahren ist derzeit in der Lage, Fahrtzeitänderungen zu ermitteln, die infolge einer Umleitungsempfehlung durch verlagerten Verkehr auf der Alternativroute verursacht werden. Die Höhe des Befolgungsgrads der Umleitungsempfehlung ist nicht einfach abschätzbar. Der Befolgungsgrad wird, in Abhängigkeit der jeweiligen Randbedingungen, wie zum Beispiel Umwegfaktor, Netzstruktur, Größe des regionalen und überregionalen Verkehrs, unterschiedlich hoch ausfallen. Verbunden damit ist eine Unsicherheit über die tatsächliche Fahrtzeit auf der Alternativroute, insbesondere dann, wenn bereits hohe Verkehrsstärken auf der Alternativroute vorhanden sind. Fahrtzeitangaben in dWiSta sollten deshalb entsprechende Zeitzuschläge beinhalten, um zu verhindern, dass durch zu niedrige Fahrtzeiten die Glaubwürdigkeit der Reisezeitinformationen in Frage gestellt wird.

Eine Einbeziehung des Verlagerungseffektes in die Fahrzeitermittlung erscheint derzeit sehr aufwändig. Die modellgestützten Verfahren OLSIM und

ddg bieten hier, gegenüber den drei anderen Modellen, günstigere Voraussetzungen.

### 3.10 Zusammenfassende Einschätzung

Grundvoraussetzung für den Einsatz von Reisezeitinformationen in dWiSta ist, dass die in Frage kommenden Berechnungsverfahren realitätsnahe Reisezeiten ermitteln. Diese Forderung gilt für alle vorkommenden Verkehrszustände, das heißt vom freien Verkehrsfluss bis zum Stau.

Zur Verifizierung der Ergebnisse der Berechnungsverfahren wurden umfangreiche Kontrollmessungen und Messfahrten mit einem im Verkehr mit schwimmenden Fahrzeug durchgeführt. Zusätzlich wurden Daten aus einem 14-tägigen Messzeitraum ausgewertet.

Bei den Verkehrsstufen „freier Verkehr“ und „dichter Verkehr“ stimmen die durch die fünf getesteten Verfahren berechneten Fahrtzeiten mit den gemessenen Fahrtzeiten überwiegend sehr gut überein. Die berechneten Fahrtzeiten weichen in den meisten Fällen um nicht mehr als eine Minute von den Kontrollmessungen ab (bezogen auf eine 10 km lange Normstrecke). Unterschiede zwischen den berechneten und den gemessenen Fahrtzeiten von mehr als zwei Minuten bilden eine Ausnahme.

Für die Verkehrsstufe „zähfließender Verkehr“ können diesbezüglich keine Aussagen getroffen werden, da im Rahmen der Kontrollmessungen dieser Verkehrszustand nicht angetroffen wurde.

Für die Verkehrsstufe „gestauter Verkehr“ liegen Kontrollmessungen nur für knapp eine Stunde vor. Aufgrund von Problemen bei der Datenübertragung zur Verkehrszentrale standen den online arbeitenden Verfahren (OLSIM und ddg) keine aktuellen Messwerte zur Verfügung. Eine begründete Einschätzung beider Verfahren für die Verkehrsstufe „gestauter Verkehr“ ist deshalb nicht möglich. Wenngleich den drei anderen Verfahren entsprechende Daten zur Verfügung standen, ist deren Umfang für abgesicherte Aussagen doch zu klein.

Die Frage, unter welchen Bedingungen die unterschiedlichen Verfahren realitätsnahe oder -ferne Fahrtzeiten berechnen, ist nicht allgemeingültig zu beantworten. Mit zunehmenden Verkehrsstärken wächst bei der Fahrtzeitberechnung die Bedeutung externer Randbedingungen (zum Beispiel Messstellendichte, örtliche Lage der Verkehrsstörung).

Größere Fahrtzeitunterschiede zwischen den Verfahren sind möglich, wie die aufgezeigten Beispiele belegen, und werden auch auf die methodischen Unterschiede zwischen den Verfahren sowie deren Parametrierbarkeit zurückgeführt. In der Mehrzahl der durchgeführten Auswertungen stimmen die berechneten Fahrtzeiten auch bei hohen Verkehrsstärken und/oder gestörtem Verkehrsfluss gut überein.

Eine verallgemeinernde Aussage der Art, dass ein oder mehrere Verfahren besonders gut geeignet oder zu verwerfen ist/sind, um Reisezeitinformationen für die Anzeige in dWiSta zur Verfügung zu stellen, ist aufgrund der durchgeführten Untersuchungen nicht möglich.

## 4 Betriebliche und technische Randbedingungen bei der Anzeige von Reisezeitinformationen

### 4.1 Technische Infrastruktur

#### 4.1.1 Datenerfassung

Der Aufbau einer neuen technischen Infrastruktur vornehmlich oder sogar ausschließlich zu Zwecken von Fahrtzeitberechnungen ist aus Kostengründen nicht vertretbar. Es wird deshalb davon ausgegangen, dass für die Berechnung von Fahrtzeiten die vorhandene technische Infrastruktur (insbesondere die stationären Messstationen) genutzt wird. Diese Annahme wird auch dadurch gestützt, weil in den hoch belasteten Netzbereichen, in denen dWiSta üblicherweise aufgestellt werden beziehungsweise aufgestellt sind, eine dichte Datenerfassung in aller Regel bereits vorhanden ist.

Die Verfahren OLSIM, ddg, ASDA/FOTO und EINFACHER ANSATZ nutzen die an den vorhandenen Messstationen erhobenen Daten (im Wesentlichen  $q_{PKW}$ ,  $q_{LKW}$ ,  $v_{PKW}$ ,  $v_{LKW}$ ) und benötigen deshalb grundsätzlich keine zusätzlichen Datenerfassungseinrichtungen.

Beim Verfahren MAVE-S gibt es in den Messstationen spezielle Auswerteeinheiten, die neben der Erfassung der herkömmlichen Verkehrsdaten die Verstimmungskurven aufzeichnen und für den Abgleich wiedererkannter Fahrzeuge an benachbarten Messstationen miteinander gekoppelt (Datenverbindung) sein müssen. Der Einsatz des Verfah-

rens MAVE-S ist deshalb in aller Regel mit einer Aufrüstung oder Neubeschaffung eines Teils der technischen Infrastruktur verbunden.

Im Zuge von Neu- oder Ersatzbeschaffungen der vorhandenen technischen Infrastruktur sollte, unter dem Aspekt der Anzeige von Reisezeitinformationen in dWiSta, geprüft werden, ob es zweckmäßig ist, die für das Verfahren MAVE-S erforderliche Hardware zu installieren. MAVE-S-Streckenstationen sind, da TLS-konform, an die im Einsatz befindlichen Unterzentralen anschließbar. Damit ergibt sich auch die Option, das Verfahren MAVE-S nur auf ausgewählten Streckenabschnitten einzusetzen. Dies könnten z. B. Streckenabschnitte mit einem überdurchschnittlich großen Messstellenabstand sein. Fahrtzeiten mehrerer Netzabschnitte können, unabhängig vom angewandten Berechnungsverfahren, zu einer Gesamtfahrtzeit aufaddiert werden.

Letzteres ist aber nicht ganz unproblematisch, weil im Verfahren begründete Fahrtzeitunterschiede die Gesamtfahrtzeit auf einem längeren Streckenabschnitt beeinflussen können. Beim Vergleich der Fahrtzeiten auf Haupt- und Alternativroute könnte dadurch eine Routenempfehlung zu spät oder auch zu früh angezeigt werden. Es wird deshalb grundsätzlich als zweckmäßig angesehen, auf Haupt- und Alternativroute dasselbe Berechnungsverfahren anzuwenden.

#### 4.1.2 Zweckmäßige Messstellendichte

Die Auswertungen zeigen, dass die Messstellendichte für die Qualität der berechneten Fahrtzeiten von großer Bedeutung ist.

Während eines Staus auf der Kontrollstrecke A 42 (23.10.2008) wurden beispielsweise vom Verfahren ddg Veränderungen im Verkehrsablauf registriert. Die Fahrtzeiten auf der Kontrollstrecke wuchsen im Vergleich zum freien Verkehrsfluss an, lagen aber niedriger, zum Teil auch deutlich niedriger, als die mittels Video gemessenen Fahrtzeiten. Dass der Stau nicht in vollem Umfang erkannt wurde, hängt damit zusammen, dass der eigentliche Staubereich zwischen den SES-Sensoren lag und der entsprechende stationäre Messquerschnitt nicht genutzt werden konnte, weil er ausgefallen war. Die SES-Sensoren registrierten deshalb einen weniger gestörten Verkehrsablauf als tatsächlich vorhanden.

In diesem Fall hat sich der Abstand der Sensoren von 3 km als zu groß erwiesen. Vergleichbare Pro-

bleme wurden auf der Kontrollstrecke A 5, mit einem mittleren Messstellenabstand von weniger als 1 km, auch bei dichtem Verkehr nicht entdeckt (siehe Tabelle 3.16).

Im vorstehenden Beispiel der A 42 wurde der Verkehrsablauf zu gut erfasst. Dies muss nicht immer sein. Auf einer anderen Untersuchungsstrecke (A 8) wurden zu lange Fahrtzeiten berechnet, weil sich die Verkehrsstörung zwar in der Datenerfassung am Messquerschnitt widerspiegelte, deren Ausdehnung aber unterhalb des Gültigkeitsbereichs des Messquerschnitts lag. Die Messstellenabstände lagen in diesem Beispiel zwischen 4 km und über 7 km.

Eindeutig ist, dass mit zunehmendem Abstand zwischen den einzelnen Messquerschnitten das Risiko ansteigt, unzutreffende Fahrtzeiten zu ermitteln, weil die lokal gemessenen Verkehrskenndaten für einen immer längeren Streckenabschnitt als repräsentativ angesehen werden müssen (Ausnahme Verfahren MAVE-S).

Aus Sicht der Anzeige von Reisezeitinformationen in dWiSta sind in den Beispielen genannte Fahrtzeiten mit einer (zu) großen Unsicherheit behaftet. Die beiden oben genannten Messquerschnittsabstände werden deshalb für Verfahren, die die an stationären Messquerschnitten erfassten Verkehrskenngrößen  $V$  und  $Q$  nutzen, als zu lang und deshalb weniger geeignet eingestuft.

Sie werden auch deshalb als zu lang beurteilt, weil bei großen Messquerschnittsabständen die Zeitdauer, bis sich eine Verkehrsstörung in den stationär erfassten Verkehrskenngrößen widerspiegelt, immer länger wird.

In Tabelle 4.1 sind beispielhaft für unterschiedliche Messquerschnittsabstände und Lagen der Störungsquellen die Zeiten dargestellt, die vergehen, bis sich die Störung in den Verkehrskenngrößen abbildet. Für die Berechnung wurde angenommen, dass am stromaufwärts gelegenen MQ 1 die Änderung des Verkehrsflusses durch abbremsende Fahrzeuge erkannt wird, wenn sich das Stauende bis auf 400 m an den Messquerschnitt angenähert hat.

Tabelle 4.1 zeigt, dass die Zeitdauer, bis eine Störung die Verkehrskenngrößen nachhaltig verändert, auch bei kurzen Messquerschnittsabständen mehrere Minuten betragen kann. Die Zeitdauer sollte aber möglichst kurz sein, weil die Fahrtzeitberechnung innerhalb dieser Zeitspanne die Störung

Abstand zwischen MQ 1 und MQ 2	Entfernung des Störungsursprungs zu den stromaufwärts und stromabwärts gelegenen Messquerschnitten											
	500 m		1.000 m		1.500 m		2.000 m		3.000 m		4.000 m	
	Zeitdauer [min] nach Beginn der Störung, bis sich die Störung in den Verkehrskenngrößen widerspiegelt											
	MQ 1	MQ 2	MQ 1	MQ 2	MQ 1	MQ 2	MQ 1	MQ 2	MQ 1	MQ 2	MQ 1	MQ 2
1.000	0,5	0,4	3,0									
2.000	0,5	1,1	3,0	0,8	5,5	0,4						
3.000	0,5	1,9	3,0	1,5	5,5	1,1	8,0	0,8	13,0	0,0		
4.000	0,5	2,6	3,0	2,3	5,5	1,9	8,0	1,5	13,0	0,8	18,0	0,0
6.000	0,5	4,1	3,0	3,8	5,5	3,4	8,0	3,0	13,0	2,3	18,0	1,5
8.000	0,5	5,6	3,0	5,3	5,5	4,9	8,0	4,5	13,0	3,8	18,0	3,0

Berechnungsannahmen :

MQ 1 = stromaufwärts gelegen, MQ 2 = stromabwärts gelegen

q = 1.200 Kfz/h und Fahrstreifen, d. h. mittlere Fahrzeugankunft = 3 sec

v = 80 km/h für den ungehinderten Abfluss

mittlere Fahrzeuglänge einschließlich Abstand zum Vorderfahrzeug = 10 m

**Tab. 4.1:** Zeitdauer, bis sich eine Störung auf stationär erfasste Verkehrskenngrößen auswirkt

nicht berücksichtigt, da sie sich nicht in den Verkehrskenngrößen widerspiegelt, und deshalb falsche Fahrtzeiten ermittelt.

Gegen zu große Abstände zwischen den einzelnen Messquerschnitten spricht ferner, dass beim Ausfall eines Messquerschnitts der sich neu ergebende Messabschnitt sehr lang wird. Beim Ausfall eines Messquerschnitts und einem mittleren Abstand von 4 km ergibt sich ein neuer Messabschnitt von bereits 8 km Länge. Würde innerhalb dieses Abschnitts ein 2 km langer Staubereich sein, der im Mittel nur mit 20 km/h durchfahren werden kann, ergibt sich, im ungestörten Bereich eine mittlere Geschwindigkeit von 100 km/h unterstellt, eine Fahrtzeitverlängerung von 4,8 Minuten gegenüber der durchgehenden Fahrt mit 100 km/h. Ein solch großer nicht erkannter Fahrtzeitunterschied wird im Hinblick auf die Anzeige von Reisezeitinformationen in dWiSta als zu groß angesehen. Dies gilt insbesondere dann, wenn sich die Haupt- und die Alternativroute hinsichtlich der Länge nicht oder nur wenig unterscheiden.

Die durchgeführten Analysen zeigen, dass beispielsweise auf der Kontrollstrecke A 5, mit einer sehr dichten Folge von Messquerschnitten, die von den dort getesteten Verfahren ASDA/FOTO, ddg und EINFACHER ANSATZ berechneten Fahrtzeiten besser mit den Kontrollmessungen übereinstimmen als auf den anderen Kontrollstrecken. Auch die Differenzen zwischen den berechneten Fahrtzeiten der drei Verfahren auf der Kontrollstrecke A 5 sind, verglichen mit den Ergebnissen

auf den anderen Kontrollstrecken, im Mittel ebenfalls geringer.

Der auf der Kontrollstrecke A 5 festgestellte Messstellenabstand von im Mittel weniger als ein Kilometer wird für die Fahrtzeitberechnung als sehr günstig eingestuft.

Auch wenn letztere Aussage nicht auf alle Verkehrszustände übertragen werden darf, zeigen die durchgeführten Vergleiche, dass bei der Mehrzahl der Fälle, auch bei höheren Verkehrsstärken (dichter Verkehr) und einem mittleren Abstand der Messquerschnitte von 2 km, verlässliche Fahrtzeiten berechnet werden. Von daher erscheint ein solcher Abstand, auch unter Berücksichtigung finanzieller Aspekte, als zweckmäßig.

Ob, und wenn ja, in welchem Maße, durch den Einsatz entsprechender Algorithmen die Abstände zwischen zwei Messquerschnitten vergrößert werden können, ohne die Berechnungsergebnisse negativ zu verändern, wurde im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nicht untersucht.

Bei der Festlegung der Lage von Messquerschnitten ist die Netzstruktur zu berücksichtigen. In jedem Netzabschnitt (von AS zu AS) sollte zumindest ein Messquerschnitt liegen, um die Wirkungen des Ab- und Zuflusses an einer Anschlussstelle auf dem Verkehrsablauf im stromabwärtigen Streckenabschnitt erfassen zu können.

Darüber hinaus ist anzustreben, dass im Vor- und Nachlauf von besonders staugefährdeten Abschnit-

ten, z. B. Fahrstreifeneinziehungen, Messquerschnitte angeordnet sind. Analog dazu sollten auch Messquerschnitte vorhanden sein, wenn Fahrstreifen addiert werden. Beide Forderungen gelten insbesondere dann, wenn das Verfahren EINFACHER ANSATZ zum Tragen kommen soll. Die modellgestützten Verfahren OLSIM, ddg und ASDA/FOTO verfügen über entsprechende Algorithmen, um den Verkehrsablauf speziell in diesen Bereichen gezielter nachzubilden.

Das Verfahren MAVE-S erlaubt, im Hinblick auf die Gewinnung von Fahrtzeiten, im Vergleich zu den übrigen Verfahren größere Abstände zwischen den einzelnen Messquerschnitten. Auf der Teststrecke A 8 liegt der mittlere Abstand bei rund 3,5 km und beträgt der maximale Fall sogar 6,3 km. Bei solchen großen Abständen muss dafür Sorge getragen werden, dass die Ausfallwahrscheinlichkeit einer Messstelle gering ist, um dauerhaft verlässliche Fahrtzeiten ermitteln zu können.

#### 4.1.3 Bereitstellung der berechneten Fahrtzeiten

Die von den Verfahren OLSIM und ddg berechneten Fahrtzeiten liegen derzeit nicht unmittelbar in der Verkehrszentrale beziehungsweise den für die Schaltung der dWiSta zuständigen Stellen vor. Bei einem Einsatz eines oder beider Verfahren müssten mit den jeweiligen Betreibern der Verfahren entsprechende Vereinbarungen getroffen werden, damit die Daten von der Straßenbauverwaltung genutzt werden können. Neben vertragsrechtlichen und finanziellen Gesichtspunkten muss die Datenübertragung zwischen Betreiber und Straßenbauverwaltung geregelt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass eine Datenübertragung zu jeder Zeit uneingeschränkt möglich ist, ansonsten könnten Reisezeitinformationen verspätet oder gar nicht angezeigt werden. Um eine ausreichende Sicherheit bei der Datenübertragung zwischen Betreiber und Straßenbauverwaltung zu gewährleisten, wird voraussichtlich eine feste Verbindung (Standleitung, Netzwerkverbindung) notwendig werden. Technische Einzelheiten zur Verknüpfung der Rechnerzentralen und der Übertragungsprotokolle wären zu gegebener Zeit abzustimmen.

Schwierigkeiten oder Probleme durch die notwendige Datenübertragung werden nicht gesehen. Die mit der doppelten Datenübertragung verbundenen Zeitverluste werden als klein und vernachlässigbar eingeschätzt. Anpassungen beziehungsweise Er-

weiterungen der in der Verkehrszentrale eingesetzten Software zur Speicherung und gegebenenfalls Weiterverarbeitung der eingehenden Fahrtzeiten, wie auch für die Schaltung der dWiSta, werden notwendig.

Die vom Verfahren MAVE-S ermittelten Fahrtzeiten liegen zunächst nur lokal an den Messstationen vor. Zur weiteren Verarbeitung und zur Schaltung der dWiSta müssen sie kontinuierlich an die Verkehrszentrale weitergeleitet werden. Zur Reduzierung der Datenübertragungsmenge ist es denkbar, dass die zugehörigen Unterzentralen Daten nur dann zur Verkehrsrechnerzentrale übertragen, wenn sich die Fahrtzeit ändert. Die bestehenden Verbindungen zwischen Unterzentrale und Verkehrsrechnerzentralen müssen über ausreichende Kapazitäten zur Datenübertragung der zusätzlichen Fahrtzeitinformationen verfügen. Die in der Unterzentrale vorhandene Software müsste für die Übertragung der Fahrtzeiten entsprechend angepasst oder erweitert werden.

Das Verfahren ASDA/FOTO ist in der Verkehrszentrale Hessen implementiert. Die für die A 3 und A 5 berechneten Fahrtzeiten liegen damit direkt in der Verkehrszentrale vor. Die Implementierung in der Verkehrszentrale bietet den Vorteil, dass die originären Messdaten der stationären Messstationen in der Verkehrszentrale gespeichert und nicht notwendig sind. Eine Implementierung des Verfahrens auch in andere Verkehrszentralen wird als relativ problemlos möglich angesehen.

Denkbar ist auch, das Verfahren ASDA/FOTO extern durch einen Dienstleister anwenden zu lassen. Diese Lösung ist im Rahmen des Einsatzes des Verfahrens ASDA/FOTO auf den bayerischen Autobahnen gewählt worden. Sie erscheint aber als etwas aufwändiger im Vergleich zur Implementierung in der Verkehrszentrale, einerseits weil die originären Messdaten der stationären Erfassungssysteme zum Dienstleister hin übertragen werden müssen, und andererseits, weil dann, wie auch bei den Verfahren OLSIM und ddg, die berechneten Fahrtzeiten wiederum vom Dienstleister in die Verkehrszentrale zurückübertragen werden müssen.

Das Verfahren EINFACHER ANSATZ kann direkt in der Verkehrszentrale implementiert werden. Damit ist ein einfacher Zugriff auf die originären Messdaten sichergestellt und die weitere Aufbereitung beziehungsweise Verarbeitung der ermittelten Fahrtzeiten ohne größere Datenübertragung möglich.

## 4.2 Betriebliche Randbedingungen

### 4.2.1 Hinweise zu Schaltungen von Reisezeitinformationen in dWiSta

Automatisierte Steuerungsverfahren für die Anzeige von Umleitungsempfehlungen in dWiSta sind derzeit noch in der Entwicklung. Die meisten dWiSta werden deshalb, unter Einbeziehung der aktuellen Verkehrslage (Radio Data Service – RDS) und Kenntnis der örtlichen Situation, durch einen Operateur in der zuständigen Verkehrszentrale manuell geschaltet. Bei der zusätzlichen Anzeige von Reisezeitinformationen in dWiSta sind weitere Aspekte zu berücksichtigen.

Die anzuzeigenden Reisezeitinformationen dürfen nur die Streckenabschnitte umfassen, über die die Hauptroute beziehungsweise die Alternativroute geführt werden. Dabei sind Anfangs- und Endpunkt von Haupt- und Alternativroute identisch, in der Regel handelt es sich dabei um Autobahndreiecke oder Autobahnkreuze.

Eine Verlustzeitangabe auf der Hauptroute, ohne dass eine Umleitungsempfehlung gegeben wird, ist grundsätzlich immer schaltbar. Die Anzeige ergänzt die standardmäßige Information zur Staulänge. Da vermutlich dennoch viele Verkehrsteilnehmer auf der Hauptroute verbleiben werden, kann die Verlustzeitangabe durch die Verkehrsteilnehmer einfach verifiziert werden. Die angezeigte Fahrtzeit sollte der tatsächlichen möglichst nahekommen. Weichen die beiden Zeiten zu sehr voneinander ab, besteht die Gefahr, dass die Verkehrsteilnehmer den Reisezeitinformationen generell misstrauen und sie auch in anderen Fällen bei ihren Entscheidungen nicht weiter beachten.

Bei Anzeige einer Umleitungsempfehlungen in dWiSta muss dafür Sorge getragen werden, dass die Reisezeitinformationen nicht im Widerspruch zur Umleitungsempfehlung stehen. Bei Angabe einer längeren Fahrtzeit für die Alternativroute als für die Hauptroute ist davon auszugehen, dass der Routenempfehlung nicht gefolgt wird, auch wenn damit ein komfortabler oder ein aus Verkehrslenkungsgründen wünschenswerter Weg angeboten wird. In einem solchen Fall ist auf die Anzeige von Reisezeitinformationen zu verzichten.

Längere Fahrtzeiten auf der Alternativroute können sich auch dann einstellen, wenn die berechneten Fahrtzeiten innerhalb kurzer Zeitabstände stark schwanken, sodass mal die Hauptroute und mal die Alternativroute unter zeitlichen Aspekten vorteilhaft-

ter ist. Beispiele für stark schwankende Fahrtzeiten sind im Kapitel 3.7 enthalten.

Um entsprechende Probleme zu minimieren, sollten die minütlich berechneten Fahrtzeiten nicht direkt angezeigt werden. Insbesondere bei stark wechselnden Fahrtzeiten sollten sie vorher geglättet werden. Diese Verfahren sind auf die Berechnungsverfahren zur Fahrzeitermittlung abzustimmen, weil die berechneten Fahrtzeiten, je nach Berechnungsverfahren, bereits unterschiedlich stark geglättet sein können. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden entsprechende Verfahren zur „Vorbehandlung“ der anzuzeigenden Fahrtzeiten aber nicht untersucht.

Unabhängig davon, wie lange eine Fahrtzeit in dWiSta angezeigt wird, ist diese in der Zentrale permanent zu beobachten und ggf. zu aktualisieren. Grundsätzlich spricht nichts dagegen, wenn die Reisezeitangaben in dWiSta auch kurzfristig aktualisiert werden. Der Verkehrsteilnehmer sieht, da er das Schild nur einmal passiert, die angegebene Fahrtzeit auch nur einmal. Es kann allerdings vorkommen, weil das Schild nach 750 m wiederholt wird, dass auf beiden Schildern für den Verkehrsteilnehmer, infolge einer Aktualisierung der Daten, unterschiedliche Fahrtzeiten angezeigt werden.

Dies wird aber nicht als gravierendes Problem eingestuft, weil Verkehrsteilnehmer erkennen, dass die Schilder dynamisch gesteuert und deshalb Änderungen der Anzeigen möglich sind. Dieses vermeintliche Problem kann durch eine zeitversetzte Aktualisierung des zweiten Schildes reduziert werden.

Wann eine Aktualisierung der Anzeige nötig ist, wurde im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nicht untersucht. Sie hängt sowohl von den Längen der Haupt- und Alternativrouten wie auch von der Feinheit der Zeitangabe (z. B. minutenscharf oder auf fünf Minuten gerundete Werte) ab.

Notwendig ist in jedem Fall, die Reisezeitinformationen in den dWiSta automatisiert zu überprüfen und zu aktualisieren. Eine manuelle Überwachung und Anpassung der Schaltung werden als zu aufwändig und fehlerhaft angesehen.

### 4.2.2 Schwellenwerte, ab denen Alternativrouten angezeigt werden (sollten)

Um die Erwartungen der Verkehrsteilnehmer an die Genauigkeit der angezeigten Fahrtzeiten nicht zu hoch werden zu lassen, wird vorgeschlagen, Fahrtzeitverlängerungen oder Fahrtzeitgewinne nur in 5-

Fahrzeit- gewinn [min]	Mehrweg auf Alternativroute [km]								
	1	2	3	4	5	10	15	20	30
3	0,37	0,24	0,11	-0,02	-0,15	-0,80	-1,45	-2,10	-3,40
4	0,54	0,41	0,28	0,15	0,02	-0,63	-1,28	-1,93	-3,23
5	0,70	0,57	0,44	0,31	0,18	-0,47	-1,12	-1,77	-3,07
10	1,54	1,41	1,28	1,15	1,02	0,37	-0,28	-0,93	-2,23
15	2,37	2,24	2,11	1,98	1,85	1,20	0,55	-0,10	-1,40
20	3,20	3,07	2,94	2,81	2,68	2,03	1,38	0,73	-0,57
25	4,04	3,91	3,78	3,65	3,52	2,87	2,22	1,57	0,27
30	4,87	4,74	4,61	4,48	4,35	3,70	3,05	2,40	1,10
40	6,54	6,41	6,28	6,15	6,02	5,37	4,72	4,07	2,77

Tab. 4.2: Resultierende Aufwendungen (Nutzen) [€] bei Befolgung der Alternativroute; Annahmen: Zeitkosten: 10 €/h und Kfz, Betriebskosten: 0,13 €/km und Kfz

Minutenschritten anzuzeigen. Dazwischen liegende Werte sollten auf- beziehungsweise abgerundet werden. Es wird dabei unterstellt, dass Verkehrsteilnehmer, wenn sie Zeitangaben immer nur in 5-Minutenschritten sehen, selbst erkennen, dass es sich hierbei um gerundete Angaben handelt, die nach oben wie nach unten schwanken können.

Bei dieser Vorgehensweise müssen Fahrzeitverlängerungen oder -gewinne mindestens 2,5 Minuten betragen, um überhaupt angezeigt zu werden.

Neben der o. g. zeitlichen Mindestanforderung ist weiter zu berücksichtigen, dass der Fahrzeitgewinn auf der Alternativroute nicht durch höhere Kosten infolge des Mehrwegs verloren geht. Ein 5-minütiger Fahrzeitgewinn bei einer 15 km längeren Fahrtstrecke gegenüber der Hauptroute ist, insgesamt gesehen unattraktiv.

Unterstellt man für alle Verkehrsteilnehmer einen mittleren Zeitkostenansatz von 10 €/h und mittlere Betriebskosten der Kraftfahrzeuge von 0,13 €/km, muss je Kilometer Mehrweg der Zeitvorteil mindestens 0,8 Minuten betragen, damit die Fahrt über die Alternativroute für die Verkehrsteilnehmer zumindest kostenneutral ist. In Tabelle 4.2 sind für Fahrzeitgewinne von bis zu 40 Minuten und Mehrwege von bis zu 30 km auf der Alternativroute die resultierenden finanziellen Aufwendungen (Nutzen) für ein Kraftfahrzeug zusammengestellt. Dabei gelten die vorgenannten Kostensätze.

### 4.3 Entwicklungspotenziale der Berechnungsverfahren

Die modellgestützten Verfahren bieten im Hinblick auf ihre Weiterentwicklung die größeren Potenziale der insgesamt untersuchten Verfahren. Dies betrifft sowohl die Grundlagendaten und mögliche Datenersatzverfahren wie auch verfeinerte, die örtliche Situation stärker berücksichtigende Rechenalgorithmen. Die Verfahren werden nach Aussagen der Entwickler kontinuierlich weiterentwickelt. Von besonderem Interesse sind dabei Netzabschnitte, auf denen häufig ein von der „Norm“ abweichender Verkehrsablauf auftritt, dem deshalb bei der Fahrzeitermittlung besondere Bedeutung zukommt. Solche Abschnitte können beispielsweise Engstellen (Querschnittsreduzierungen) oder längerfristige Baustellen sein.

Die Kenntnis solcher Abschnitte ist vor allem immer dann wichtig, wenn in dem betroffenen Abschnitt keine oder nur unzureichende Verkehrskennwerte vorhanden sind. Gerade im Bereich von Baustellen ist die Datengrundlage häufig schlecht, weil zum Beispiel durch die Baumaßnahme selbst vorhandene Messquerschnitte ausfallen können. Eine schlechte Datengrundlage können die modellgestützten Verfahren durch die Auswahl entsprechender, auf die jeweilige Situation zugeschnittener Rechenalgorithmen teilweise kompensieren und so zu genaueren Fahrzeiten gelangen.

Eine Verfeinerung der im Verfahren ASDA/ FOTO implementierten Algorithmen ist möglich geworden, weil die Patentinhaber die Erlaubnis zur Modifikation/Weiterentwicklung gegeben haben. Das Ver-

fahren ASDA/FOTO wurde bislang vorwiegend als eigenständiges Programm angewendet. Es besteht die Möglichkeit, das Verfahren ASDA/FOTO als einen Teil in ein Verkehrsmodell einzubinden. Dies könnte neue Möglichkeiten im Hinblick auf die Berücksichtigung von Verlagerungseffekten infolge der Empfehlung von Alternativrouten sowie prognostische Aussagen eröffnen.

Teilweise sehr große Abweichungen zwischen den berechneten Fahrtzeiten der einzelnen Berechnungsverfahren wurden in der Verkehrsstufe „gestauter Verkehr“ festgestellt. Die Datenlage deutet an, dass bei sehr niedrigen Geschwindigkeiten oder Stop-and-go-Verkehr eine zuverlässige Berechnung der Fahrtzeiten zunehmend schwieriger wird. Die Abweichungen zwischen den einzelnen Verfahren können beachtliche Größen annehmen.

Eine Weiterentwicklung der Berechnungsverfahren mit dem Ziel, die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der ermittelten Fahrtzeiten bei gestautem Verkehrsfluss zu erhöhen, ist deshalb wünschenswert (siehe dazu auch Kapitel 3.7). Dies gilt umso mehr, als gerade bei solchen Verkehrszuständen Alternativrouten empfohlen werden sollen.

Auf Abschnitten mit starken Abbiegeströmen ergibt sich häufig auf den Abbiegefahrstreifen ein deutlich anderer Verkehrsfluss als auf den durchgehenden Fahrstreifen. Die damit verbundenen Fahrtzeitunterschiede können sehr groß werden. Weil gerade auf die Alternativroute ausweichende Verkehrsteilnehmer die Autobahn in der Regel mehrfach wechseln müssen, kann die nicht ausreichende Berücksichtigung dieser Zeitverluste zu einer gravierenden Fehleinschätzung der gesamten Fahrtzeit führen (vgl. Kapitel 3.7). Die Berechnungsverfahren sollten deshalb dahingehend erweitert werden, auf einem Netzabschnitt getrennte Fahrtzeiten für den durchgehenden und abbiegenden Strom zu ermitteln.

#### 4.4 Auswahlkriterien

Der Einsatz des Verfahrens EINFACHER ANSATZ ist mit einer Neuentwicklung und -implementierung einer entsprechenden Software zur Berechnung der Fahrtzeiten verbunden. Wenn die Software bei der Straßenbauverwaltung selbst implementiert wird, fallen neben den einmaligen Kosten und ggf. laufenden Wartungskosten keine weiteren Kosten für die Bereitstellung der Fahrtzeiten an.

Bei den übrigen getesteten Verfahren verhält es sich andersherum. Eine Implementierung von Software bei der Straßenbauverwaltung ist nicht notwendig, weil die Fahrtzeiten als „fertiges“ Produkt geliefert werden. Direkte Kosten für die (Weiter-)Entwicklung fallen bei der Straßenbauverwaltung nicht an, dafür aber regelmäßige Kosten für die Bereitstellung der Daten.

Welche der beiden Lösungen auf Dauer die kostengünstigere ist, wurde nicht untersucht. Die für die Straßenbauverwaltung komfortablere Lösung dürfte die Zulieferung „fertiger“ Fahrtzeiten sein. Sie bietet auch insofern Vorteile, weil die Hersteller ihre Produkte mit der Zielsetzung einer erhöhten Genauigkeit weiterentwickeln müssen, um konkurrenzfähig zu bleiben.

Die Gefahr für die Straßenbauverwaltung, durch die Bereitstellung von Fahrzeiten durch Dritte von diesen „abhängig“ zu werden, wird als vernachlässigbar angesehen. Zum einen ist eine Anzeige von Fahrtzeiten in dWiSta zwar wünschenswert, aber nicht zwingend erforderlich und zum anderen besteht die Möglichkeit, den Anbieter zu wechseln.

Alle getesteten Verfahren stützen sich stark oder auch ganz auf die stationäre Datenerfassung. Größere Abstände zwischen den einzelnen Messquerschnitten erhöhen bei den meisten Verfahren (Ausnahme MAVE-S) das Risiko, Verkehrsstörungen nicht oder zu spät zu erkennen und damit unzutreffende Fahrtzeiten zu berechnen.

dWiSta werden aber gezielt im Bereich stark belasteter Autobahnabschnitte aufgestellt, auf denen üblicherweise bereits eine dichte Verkehrsdatenerfassung vorhanden ist. Insofern relativiert sich die aufgezeigte Problematik. Die vorhandene technische Infrastruktur ist deshalb für die Wahl eines Verfahrens weniger ausschlaggebend.

Auch bei den sich in der Verkehrszentrale anschließenden Arbeitsschritten bis zur Anzeige in den dWiSta sind die Verfahren gleichwertig, weil alle Verfahren die Fahrtzeiten abschnittsbezogen, d. h. in der Regel von Anschlussstelle zu nachfolgender Anschlussstelle bzw. Autobahnknotenpunkt, bereitstellen. Feinere Auflösungen sind möglich, werden aber für Zwecke der Reisezeitinformationen in dWiSta nicht benötigt. Bis zur Freigabe der Anzeige in dWiSta durchlaufen die Fahrtzeiten aller Verfahren deshalb auch immer die gleichen Schritte.

Bei der Auswahl des Verfahrens können deshalb auch weitere Aspekte zum Tragen kommen, die

nicht unmittelbar im Zusammenhang mit der Fahrtzeitberechnung stehen. Die Verfahren, die unabhängig von der Fahrtzeitberechnung für dWiSta, netzweit arbeiten, verfügen über weitere für Verkehrssteuerungsaufgaben generell nutzbare Daten, z. B. Stauumfahrungsempfehlungen und können einen entsprechenden Mehrwert leisten. Eine Bewertung solcher Aspekte ist jedoch nicht Gegenstand dieses Forschungsvorhabens.

Die Eignung der getesteten Verfahren, Fahrtzeiten mit einer ausreichenden Genauigkeit zu ermitteln, um sie in dWiSta anzuzeigen, ist grundsätzlich gegeben, wenngleich bei allen Verfahren, insbesondere im Bereich des gestauten Verkehrs, noch Entwicklungsbedarf gesehen wird. Die Hervorhebung oder Herabsetzung eines der getesteten Verfahren ist aufgrund der Untersuchungsergebnisse nicht angebracht. Die Verfahren werden im Hinblick auf die „reine“ Fahrtzeitberechnung als relativ gleichwertig eingestuft.

## 5 Wahrnehmungspsychologische Aspekte der Einbettung von Reisezeitinformationen

Die Gestaltung und Auswahl der Anzeigekonzepte erfolgten in drei Stufen. Im ersten Schritt wurden 19 Anzeigekonzepte entworfen und mit dem Betreuerkreis abgestimmt. Die daraus resultierenden elf Konzepte wurden im zweiten Schritt durch eine Vorbefragung von Autobahnnutzern weiter reduziert bzw. verändert. Die vier als am geeignetsten bewerteten Konzepte bildeten daraufhin im dritten Schritt die Grundlage für ein wahrnehmungspsychologisches Experiment, aus dem dann ein Gestaltungsvorschlag abgeleitet wurde, der aus Fahrersicht am besten für die Anzeige von Reisezeitinformationen geeignet ist.

### 5.1 Entwurf der Anzeigekonzepte und Vorauswahl

Die Resultate der Literaturrecherche (siehe Kapitel 2.4) bilden die wesentliche Grundlage für den ersten Entwurf der Anzeigekonzepte.

Die Einbettung von Reisezeitinformationen sollte unter Beachtung der Hinweise für die einheitliche Gestaltung und Anwendung von dWiSta an Bundesfernstraßen [11] erfolgen. Bild 5.1 zeigt die in

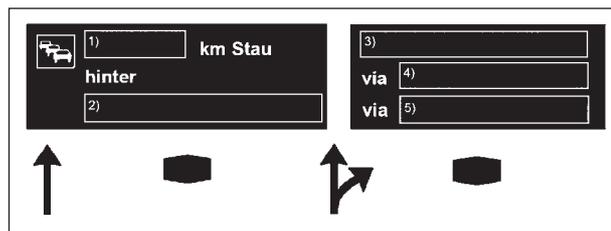


Bild 5.1: Bezugsfall gemäß den Hinweisen und Empfehlungen für die dWiSta-Gestaltung

[11] gegebenen Hinweise und Empfehlungen für die dWiSta-Gestaltung. Dabei steht unter 1) die Staulänge, unter 2) die Anschlussstellennummer mit dem Anschlussstellennamen bzw. das Autobahnkreuz oder -dreieck, unter 3) das umgelenkte Ziel oder die umgelenkten Ziele, unter 4) die Bundesautobahn-Nummer (bei Bedarf mit Fernziel) und unter 5) ggf. weitere Bundesautobahnnummern (bei Bedarf mit Fernziel).

Für die Modifikation der Schilder wurden Informationen genutzt, die alle für den Fahrer nützlichen Zeit- und Entfernungsangaben, im Zusammenhang mit dem Stau und seiner Umfahrung, zusammenfassen:

- für die Standardroute:
  - Staulänge in Kilometern,
  - Reisezeit zum Fernziel,
  - Reisezeitverlängerung durch Stau,
- für die Alternativroute:
  - Länge der Umfahrung,
  - Reisezeit zum Fernziel,
  - Reisezeitverlängerung durch Umfahrung,
  - Reisezeitgewinn als errechnete Zeitdifferenz zwischen der Reisezeitverlängerung durch den Stau und der Reisezeitverlängerung durch die Nutzung der Alternativroute.

Die Reisezeitinformationen und die bisherigen Anzeigeninhalte wurden systematisch variiert und in das Grundkonzept eingebaut. Nach Absprache mit dem Auftraggeber und dem Betreuerkreis wurden bei der Erstellung folgende Punkte berücksichtigt:

- Es können unscharfe Begriffe verwendet werden („schneller“, „länger“ etc.),
- die Angabe auf den Schildern sollte möglichst international verständlich sein,

- es kann eine Variante mit geografischen Richtungsangaben konzipiert werden,
- Zeitangaben sollten eher in der dritten Zeile des Textblockes angezeigt werden,
- es erfolgt keine farbige Darstellung,
- Symbole für die Reisezeit und Reisezeitverlängerung sind ausgeschlossen und
- es sollten möglichst keine unterschiedlichen Maßeinheiten in einer Zeile (über beiden Textblöcken) angezeigt werden.

Insgesamt wurden 19 Planfälle skizzenhaft entworfen, die zusammen mit dem Bezugsfall die erste Diskussionsgrundlage bilden. Auf eine schematische Darstellung im vorliegenden Bericht wird aus Platzgründen verzichtet.

Alle Entwürfe bezogen sich auf ein Autobahnkreuz im Zielgebiet der Vorbefragung (siehe Bild 5.14). Bild 5.2 zeigt beispielhaft einen Planfall, bei dem die Reisezeitverlängerung, d. h. die staubedingte Zunahme der Reisezeit, auf der Standardroute und auf der Alternativroute eingefügt sind.

Aus Gründen der Platzersparnis in der Untersuchung und in Anlehnung an die in [11] gegebenen Hinweise und Empfehlungen für die dWiSta-Gestaltung wurden nur die Autobahnnummern ohne Fernziele verwendet. Sie bildeten Platzhalter für mögliche Zwischenziele, Kreuznamen oder Autobahnnummern mit Fernzielen.

Dem Betreuerkreis wurden die 19 skizzierten Planfälle zur Abstimmung vorgelegt. Das resultierende Ergebnis wird wie folgt zusammengefasst:

- Es erfolgt keine Untersuchung geografischer Richtungsangaben,
- es wird auf die Anzeige der Gesamtreisezeiten verzichtet; Grund ist der fehlende Bedarf der Autofahrer an Informationen über die exakte Reisezeit bis zum Fernziel,
- als Darstellung des Reisezeitgewinns und -verlustes werden die Formen „+“, „-“ und „Gewinn“ getestet,
- die Befragung sollte ergeben, ob die Angabe der Staulänge, der Verlustzeit oder beides gewünscht wird,
- die Begriffe „länger“ und „schneller“ werden nicht verwendet. „länger“ kann sowohl zeitlich als auch räumlich interpretiert werden,

4 km Stau hinter AK Schkeuditz	Dresden via A 9 A 38
+25 min	+10 min

Bild 5.2: Planfall mit Angabe der Verlustzeiten auf Standard- und Alternativroute

- es bestehen Zweifel daran, ob mathematische Zeichen wie „<“ allgemein geläufig sind, und
- auf die Angabe der Umweglänge wird verzichtet, da laut FÄRBER et al. [21] die befragten Autofahrer nicht daran interessiert sind; dies betrifft die Angabe der Länge der Umfahrung als wichtigste Information.

Aus den Ergebnissen der Begutachtung wurden zehn Planfälle sowie der Bezugsfall entworfen und als dWiSta-Schilder dem Zielgebiet entsprechend grafisch aufbereitet.

Die angepassten dWiSta-Schilder sowie der Bezugsfall sind im Folgenden dargestellt und kurz beschrieben:

#### 1. Planfall 1 (Bezugsfall)

Dieser entspricht dem bisherigen Stand aus [11] und beinhaltet keine Reisezeitangaben (siehe Bild 5.3).

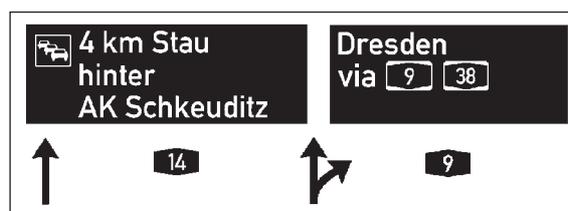


Bild 5.3: Planfall 1 (Bezugsfall)

#### 2. Planfall 2

Dieser Planfall entspricht dem Bezugsfall ohne Angabe der Staulänge, aber mit der zusätzlichen Angabe der Verlustzeiten auf der Standardroute durch den Stau (siehe Bild 5.4).

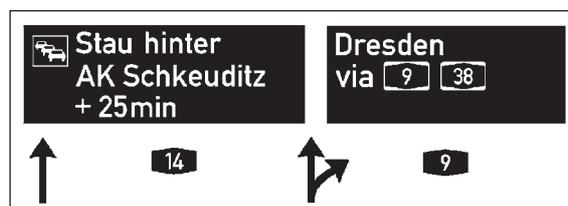


Bild 5.4: Planfall 2 – Bezugsfall ohne Staulänge, Verlustzeit auf der Standardroute

3. Planfall 3

Dieser Planfall entspricht dem Bezugsfall mit der zusätzlichen Angabe der Verlustzeiten auf der Standardroute durch den Stau (siehe Bild 5.5).

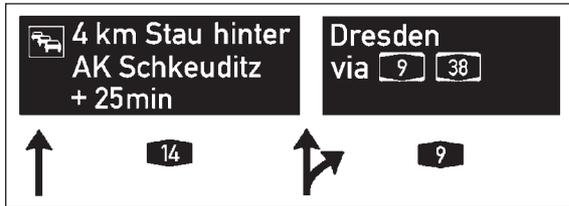


Bild 5.5: Planfall 3 – Bezugsfall mit Verlustzeit auf der Standardroute

4. Planfall 4

Dieser Planfall entspricht dem Bezugsfall ohne Angabe der Staulänge, aber mit der zusätzlichen Angabe der Verlustzeiten auf der Standardroute durch den Stau und der Verlustzeiten durch die Nutzung der Umfahrung im Vergleich zur Standardroute ohne Stau (siehe Bild 5.6).

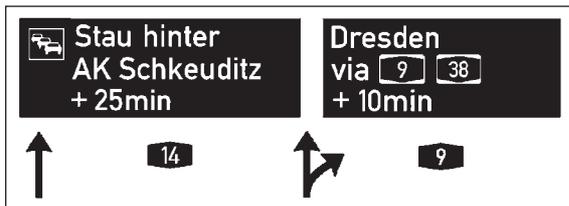


Bild 5.6: Planfall 4 – Bezugsfall ohne Staulänge, Verlustzeit auf Standard- und Alternativroute

5. Planfall 5

Dieser Planfall entspricht dem Bezugsfall mit der zusätzlichen Angabe der Verlustzeiten auf der Standardroute durch den Stau und der Verlustzeiten durch die Nutzung der Umfahrung im Vergleich zur Standardroute ohne Stau (siehe Bild 5.7).



Bild 5.7: Planfall 5 – Bezugsfall mit Verlustzeit auf der Standard- und der Alternativroute

6. Planfall 6

Dieser Planfall entspricht dem Bezugsfall ohne Angabe der Staulänge, aber mit der zusätzli-

chen Angabe des Reisezeitgewinns durch die Nutzung der Umfahrung, dargestellt durch ein „+“ (siehe Bild 5.8).



Bild 5.8: Planfall 6 – Bezugsfall ohne Staulänge, mit Gewinnzeit („+“) durch Umfahrung

7. Planfall 7

Dieser Planfall entspricht dem Bezugsfall mit der zusätzlichen Angabe des Reisezeitgewinns durch die Nutzung der Umfahrung, dargestellt durch ein „+“ (siehe Bild 5.9).



Bild 5.9: Planfall 7 – Bezugsfall mit Gewinnzeit („+“) durch Umfahrung

8. Planfall 8

Dieser Planfall entspricht dem Bezugsfall ohne Angabe der Staulänge, aber mit der zusätzlichen Angabe des Reisezeitgewinns durch die Nutzung der Umfahrung, dargestellt durch ein „-“ (siehe Bild 5.10).



Bild 5.10: Planfall 8 – Bezugsfall ohne Staulänge, mit Gewinnzeit („-“) durch Umfahrung

9. Planfall 9

Dieser Planfall entspricht dem Bezugsfall mit der zusätzlichen Angabe des Reisezeitgewinns durch die Nutzung der Umfahrung, dargestellt durch ein „-“ (siehe Bild 5.11).

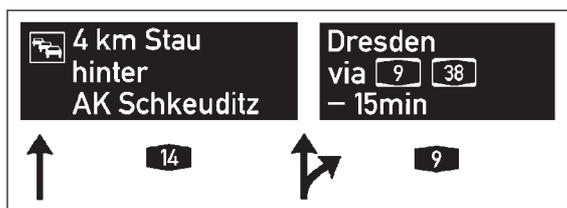


Bild 5.11: Planfall 9 – Bezugsfall mit Gewinnzeit („-“) durch Umfahrung

#### 10. Planfall 10

Dieser Planfall entspricht dem Bezugsfall ohne Angabe der Staulänge, aber mit der zusätzlichen Angabe des Reisezeitgewinns durch die Nutzung der Umfahrung, dargestellt durch „Gewinn“ (siehe Bild 5.12).



Bild 5.12: Planfall 10 – Bezugsfall ohne Staulänge, mit Gewinnzeit („Gewinn“) durch Umfahrung

#### 11. Planfall 11

Dieser Planfall entspricht dem Bezugsfall mit der zusätzlichen Angabe des Reisezeitgewinns durch die Nutzung der Umfahrung, dargestellt durch „Gewinn“ (siehe Bild 5.13).



Bild 5.13: Planfall 11 – Bezugsfall mit Gewinnzeit („Gewinn“) durch Umfahrung

Diese elf Planfälle werden im folgenden Schritt durch die Befragung von Probanden einer Vorauswahl unterzogen. Diese ist im folgenden Kapitel beschrieben.

## 5.2 Vorbefragung zur Auswahl der Anzeigekonzepte

Nach der Vorauswahl der Planfälle durch den Auftraggeber und den Betreuerkreis erfolgte die Befragung von Autobahnnutzern zur weiteren Reduktion

der Anzeigekonzepte. Ziel der Befragung war, maximal vier geeignete Anzeigekonzepte zu bestimmen, die dann weiteren experimentalpsychologischen Untersuchungen im Labor unterzogen werden.

Die Befragung muss den folgenden Kriterien genügen:

- Es sollte eine möglichst repräsentative Stichprobe von Autobahnnutzern in einem Einsatzgebiet von dWiSta-Tafeln befragt werden,
- die Befragten sollten die Planfälle möglichst naiv interpretieren, um so die Verständlichkeit der Reisezeit- und Stauangaben auch ohne Vorwissen testen zu können,
- die Befragten sollten die Planfälle im Hinblick auf die Verständlichkeit und den Nutzen bewerten und
- den Befragten sollte auch die Möglichkeit gegeben werden, eigene Wünsche in die Gestaltung einzubringen.

Als Untersuchungsmethode wurde das strukturierte Interview ausgewählt, da nur hier eine direkte Interaktion mit dem Befragten möglich ist. Vor allem bei der Präsentation der Planfälle war ein gezieltes Nachfragen erforderlich, da sonst wichtige Informationen nicht erfasst werden konnten.

Als ein geeignetes Zielgebiet für die Befragung wurde der Raum Leipzig-Halle ausgewählt, da dort einerseits mit Beginn der Befragung auch dWiSta-Tafeln aufgestellt wurden und da er andererseits eine räumliche Nähe zum Sitz des Auftragnehmers (TU Chemnitz) aufweist (siehe Bild 5.14). Als direkte Befragungspunkte wurden der Flughafen Leipzig-Halle und ein Autohof im Zielgebiet gewählt. Im Zielgebiet stand ein engmaschiges Autobahnnetz kurz vor der Vollendung und an drei Querschnitten waren dWiSta-Tafeln vorhanden.

### 5.2.1 Anforderungen an die Interviewgestaltung

Um genügend Probanden im Zielgebiet effektiv befragen zu können, muss ein Kompromiss aus einem Maximum an Information für den Befragenden und einem Minimum an Zeitaufwand für den Befragten gefunden werden. Diesem Ziel dienen die folgenden Maßnahmen bei der Interviewgestaltung und -durchführung:

- Die Gesamtlänge des Interviews sollte 15 Minuten nicht überschreiten,
- für ganz Eilige wurde auch eine Kurzvariante des Interviews entwickelt, die einen Zeitaufwand von nur 5 Minuten benötigt,
- den Probanden wurde ein materieller Anreiz in Form von Geld geboten und
- das Interview sollte an einem Flughafen im Zielgebiet durchgeführt werden, da aufgrund von Erfahrungen aus früheren Projekten angenommen wurde, dass die dort Wartenden mehr Zeit für die Beantwortung von Fragen aufbringen könnten.

Die Erhebung bestätigte diese Annahmen, da im Zeitraum von einer Woche 100 Probanden befragt werden konnten.

### 5.2.2 Die Interviewvarianten

#### Überblick über die Lang- und Kurzvariante

Das Interview wurde in zwei Varianten angeboten, einer Langvariante und einer Kurzvariante.

Die Langvariante des Interviews umfasste einen zeitlichen Rahmen von ca. 15 Minuten und gliederte sich inhaltlich in:

- eine Frage zu gewünschten Stauangaben,
- die naive Interpretation von fünf Planfällen im Hinblick auf die Reisezeitangaben,
- die Bewertung aller elf Planfälle im Vergleich,
- die Gestaltungsmöglichkeit eines Planfalles unter Vorgabe bestimmter Inhalte, aber auch der Entwurfsmöglichkeit gewünschter Inhalte und
- abschließende Angaben zur Person.

Die Kurzvariante bildete einen Ausschnitt der Langvariante und beinhaltete nur die folgenden Teilaspekte:

- eine Frage zu gewünschten Stauangaben,
- die Gestaltungsmöglichkeit eines Planfalles unter Vorgabe bestimmter Inhalte, aber auch der Entwurfsmöglichkeit gewünschter Inhalte und
- abschließende Angaben zur Person.

Im Folgenden wird der strukturierte Ablauf der Langvariante des Interviews beschrieben. Es wird

darauf verwiesen, welche Interviewabschnitte auch in der Kurzvariante vorkommen.

#### Ablauf der Interviews

##### Begrüßung (Lang- und Kurzvariante)

Beide Interviewvarianten begannen mit der Begrüßung und einer kurzen Einführung. Der Interviewer stellte sich vor und informierte über den Anlass der Befragung („Im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen führen wir eine Befragung zum Thema Stau durch“). Außerdem wurde geklärt, ob der Befragte einen Führerschein besitzt. Befragten unter Zeitdruck wurde die Möglichkeit des Kurzinterviews angeboten. Nach der Einwilligung in die Teilnahme wurde das Einverständnis zur Tonbandaufnahme eingeholt. Es wurde betont, dass die Informationen streng vertraulich behandelt werden.

##### Rangfolge unterschiedlicher Stauinformationen (Lang- und Kurzvariante)

Beide Interviewvarianten begannen mit der Frage:

„Ihnen wird jetzt eine Frage zum Thema „Stau“ gestellt. Stellen Sie sich nun vor, Sie befinden sich auf der Autobahn. Ihnen wird ein Stau mit genauer Lage gemeldet. Sie haben nun die Möglichkeit, die Stauhotline anzurufen und eine einzige Frage bezüglich des Staus zu stellen. Welche wäre das?“

Diese Frage wurde an die erste Position im Interview gesetzt, um eine naive und unbeeinflusste Antwort des Probanden zu erhalten. Ziel war die Erhebung einer Rangfolge gewünschter Stauinformationen.

##### Interpretation der Planfälle (nur Langvariante)

Nun folgte, nur in der Langvariante, die Aufgabe zur „naiven“ Schildinterpretation. Dabei sollten die Probanden den Inhalt des Schildes erfassen und die darauf befindlichen Zeitangaben als solche in ihrer Bedeutung richtig erkennen. Die Reihenfolge der Darbietung der Planfälle wurde randomisiert und ausbalanciert. Jeder Planfall sollte an einer Position in der Abfolge (eins bis fünf) gleich häufig gezeigt werden und die Abfolge der Planfälle für jeden Probanden möglichst unterschiedlich sein.

Für die naive Interpretation der Planfälle wurde der Befragte gebeten, nach einer kurzen Einführung in die Autobahnkreuze und der realitätsnahen Abfolge der vorgeschriebenen Verkehrsschilder, das



Bild 5.14: Erhebungsgebiet

dWiSta-Schild zu interpretieren. Dabei erhielt der Proband die folgenden Informationen:

„Vor Ihnen liegt nun die Skizze der Autobahnen im Raum Leipzig/Halle (A 9/A 14/A 38/A 143). Stellen Sie sich nun vor, Sie fahren auf der Bundesautobahn A 14 aus Richtung Magdeburg in Richtung Dresden.“ (Vorlage Bild 5.14)

Diese Übersicht blieb sichtbar für den Probanden liegen.

„Am Autobahnkreuz Schkeuditz sehen Sie nacheinander folgende Schilder über der Fahrbahn.“

Dem Probanden wurden nun Abbildungen des Autobahnwegweisers zur Kreuzankündigung (siehe Bild 5.15), das dWiSta-Schild (siehe Bild 5.16), der Vorwegweiser (siehe Bild 5.17) und noch einmal das dWiSta-Schild (siehe Bild 5.18) vorgelegt. Die Darbietungsdauer pro Schild betrug mindestens fünf Sekunden, wenn es der Proband wünschte, auch länger.

Das dWiSta-Schild blieb nach der zweiten Präsentation offen liegen und der Proband wurde gefragt:

„Was könnte der Inhalt dieses Schildes bedeuten?“

Nach der Interpretation des dWiSta-Schildes wurden nacheinander noch vier weitere Abbildungen vorgelegt, die sich dann nur in den Reisezeitangaben unterschieden. Bei jedem neuen dWiSta-Schild wurden die Probanden gefragt:

„Was könnten die geänderten Zeitangaben auf dem Schild bedeuten?“

Die Ergebnisse wurden in Kurzform im Fragebogen notiert und auch auf einem Audio-Rekorder aufgezeichnet.



Bild 5.15: Kreuzankündigung



Bild 5.16: dWiSta-Schild – erste Vorlage



Bild 5.17: Vorwegweiser



Bild 5.18: dWiSta-Schild – zweite Vorlage

Die Auswahl der zu zeigenden dWiSta-Schilder erfolgte in Abhängigkeit der Beantwortung der vorausgehenden Frage: Hatte der Proband in der Frage nach seinen gewünschten Stau-Angaben die Staulänge erwähnt, so sah er alle dWiSta-Schilder mit Angaben zur Staulänge und Reisezeit (Planfälle 3, 5, 7, 9 und 11, siehe Kapitel 5.1). Bei allen an-

deren Antworten auf die erste Frage sah der Proband nur dWiSta-Schilder mit Angaben zur Reisezeit, aber nicht zur Staulänge (Planfälle 2, 4, 6, 8 und 10, siehe Kapitel 5.1). Der Bezugsfall (Planfall 1, siehe Kapitel 5.1) wurde in dieser Aufgabe nicht verwendet.

Die fünf gezeigten Planfälle wurden randomisiert dargeboten, um Positions- und Reihenfolgeeffekten vorzubeugen. Der Interviewer fragte explizit nach Zeit- und Längenangaben in den Konzepten, wenn der Proband nicht selbstständig darauf einging. Wenn die Informationen über die dargestellte Situation, also ein Stau nach dem Autobahnkreuz Schkeuditz und Umleitung über die A 9 und die A 38, nicht verstanden wurden, wurde der Proband darüber aufgeklärt. Dadurch wurde das nötige Verständnis für die Interpretation gewährleistet.

#### Aufklärung über den Studienhintergrund (Lang- und Kurzvariante)

Im Anschluss wurden die Befragten über den Studienhintergrund und das Ziel der Befragung aufgeklärt, um sie mit der Thematik vertraut zu machen. Hier wurde ihnen vermittelt, wozu die dWiSta-Schilder (Planfälle) entwickelt wurden und welchem Zweck die Untersuchung dient.

#### Vergleichende Bewertung der Planfälle (nur Langvariante)

Die vergleichende Bewertung der Anzeigeconzepte hinsichtlich Verständlichkeit und Nützlichkeit für den Autofahrer ist nur in der Langvariante des Interviews vorzufinden. Ziel war, diese beiden wichtigen Konzepte in einer Aufgabe zu verbinden und die Ergebnisse als Grundlage für die Bildung einer positiven Rangreihe (beste Konzepte) und einer negativen Rangreihe (schlechteste Konzepte) heranzuziehen.

Unter der Kenntnis des Studienhintergrundes wurde dem Probanden eine Übersicht aller elf Planfälle vorgelegt und die dargestellten Zeit- und Längenangaben detailliert erklärt.

Im Anschluss wurde dem Probanden folgende Aufgabe gestellt:

„Bitte wählen Sie aus dieser Übersicht drei Schilder aus, die Ihnen in einer Stausituation am meisten weiterhelfen würden bzw. am verständlichsten erscheinen, und bringen Sie diese in eine Reihenfolge (eine so genannte Top 3).“

War diese Top 3 gebildet, fuhr der Versuchsleiter fort:

„Bitte wählen Sie nun auch die drei Varianten aus, die am unverständlichsten sind bzw. Ihnen am wenigsten weiterhelfen.“

#### Offene Planfallgestaltung (Lang- und Kurzvariante)

Die offene Gestaltungsmöglichkeit eines Planfalles, unter Vorgabe bestimmter Inhalte und der Entwurfsmöglichkeit gewünschter Informationen, war Inhalt beider Interviewvarianten. Dieses Item wurde als letzter Befragungspunkt gewählt, da für die offene Darstellung die Inhalte der vorangegangenen Aufgaben von Bedeutung sind.

Dem Probanden wurde eine Vorlage präsentiert, welche die Rahmenbedingungen zur Gestaltung der dWiSta [11] erfüllte. Diese waren als feststehende Bestandteile des Schildes vorgegeben, wie es in Bild 5.19 ersichtlich ist.

Der Befragte hatte nun die Möglichkeit, alle für ihn relevanten Reisezeitangaben selbst in die Vorlage zu integrieren. Für den Entwurf standen dem Probanden je drei Zeilen für die Standard- sowie Alternativroute zur Verfügung. Aus den Möglichkeiten zur Gestaltung konnte er für die Standardroute die Angaben „+25 min“ und „4 km“ auswählen, während für die Alternativroute die Reisezeitangaben „+15 min“, „-15 min“, „15 min Gewinn“ als Gewinnangaben, sowie „+10 min“ als Reisezeitverlängerung zur Verfügung standen. Der Interviewer erklärte die einzelnen Reisezeitangaben noch einmal.

Die Instruktion für den Befragten lautete:

„Um auch von uns nicht bedachte Wünsche erfassen zu können, haben wir hier ein Schild für Sie vorbereitet, in dem Sie selbst die möglichen Angaben in einem bestimmten Rahmen platzieren bzw. verfassen können. Vor Ihnen befindet sich ein 4 km langer Stau. Dieser Stau verursacht einen Zeitver-

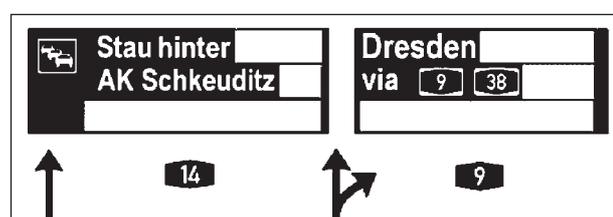


Bild 5.19: Vorlage offene Planfallgestaltung

lust von 25 min. Die Umfahrung führt zu einer Verlängerung der Fahrzeit von 10 min. Das bedeutet auch, dass die Umfahrung im Vergleich zum Stau einen Zeitgewinn von 15 min bringt. Wählen Sie die für Sie wichtigen Angaben bzw. entwerfen Sie selbst fehlende Angaben und ordnen Sie die Karten so, wie es für sie am besten und verständlichsten ist. Sie müssen nicht alle Angaben wählen und es kann auch eine schon gezeigte Variante sein.“

#### Biografische Angaben (Lang- und Kurzvariante)

Zum Abschluss des Interviews wurden noch Angaben zur Person erhoben. Dazu zählten das Geschlecht, das Geburtsjahr, ob der Proband Berufskraftfahrer war oder nicht, die Jahreskilometerleistung (im Besonderen auf Autobahnen), die Ortskenntnisse bezüglich der Autobahnen im Erhebungsgebiet, die Frequenz von Stausituationen und die bisherige Nutzung von Reisezeitangaben.

### 5.2.3 Orte und Zeitraum der Befragung

Der Hauptteil der Befragung fand im Zeitraum vom 3. Juli bis zum 7. Juli 2006 an zwei Erhebungsorten statt.

Der Großteil der Erhebung (67 Interviews) erfolgte direkt im Gebäude des Flughafens Halle-Leipzig. Dieser Ort erwies sich als ideal, da er direkt vor dem Sicherheitsbereich liegt und somit sehr viele Reisende auf dem Weg zu ihrem Flug befragt werden konnten. Auch die dort auf Fluggäste wartenden Personen ließen sich gern auf das Interview ein.

Als zweiter Erhebungsort wurde der Autohof Bad Dürrenberg an der Bundesautobahn A 9 gewählt. Auch dieser Befragungsort war ideal, da er von beiden Richtungen der A 9 direkt angefahren werden kann und auch in beiden Richtungen dWiSta-Tafeln aufgestellt sind. Der Grundgedanke war hier, eine große Anzahl an Lkw-Fahrern befragen zu können, da diese eine interessante Zielgruppe für mögliche Stauhinweise darstellen.

In einer Nacherhebung Anfang August 2006 wurden acht Probanden an der TU Chemnitz befragt und nachträglich in die Stichprobe integriert.

### 5.2.4 Stichprobe

Die Altersverteilung der 108 Befragten ist in Bild 5.20 dargestellt. Das Durchschnittsalter beträgt

43,45 Jahre bei einer Standardabweichung von 13,99 Jahren (siehe Bild 5.20).

Von den 108 Probanden wurden 81 Probanden mit der Langvariante und 27 mit der Kurzvariante befragt. Auch hier wurde der Altersmittelwert berechnet. Die Langversion zeigt einen Mittelwert von 42,86 Jahren (SD = 13,85, siehe Bild 5.21) und die Kurzversion einen Mittelwert von 45,22 Jahren (SD = 14,48, siehe Bild 5.22).

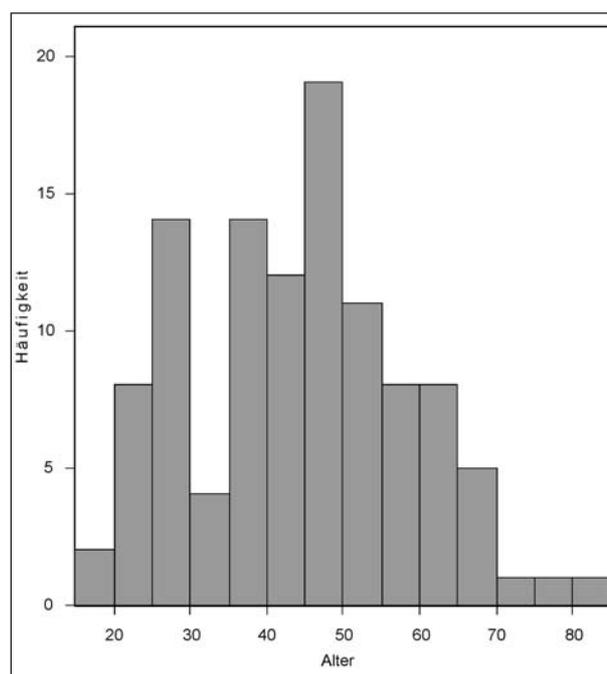


Bild 5.20: Altershäufigkeiten Stichprobe

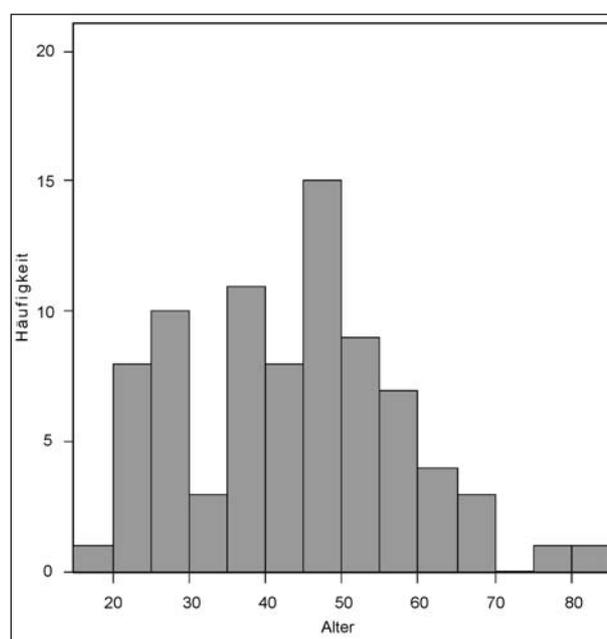


Bild 5.21: Altershäufigkeiten Langversion

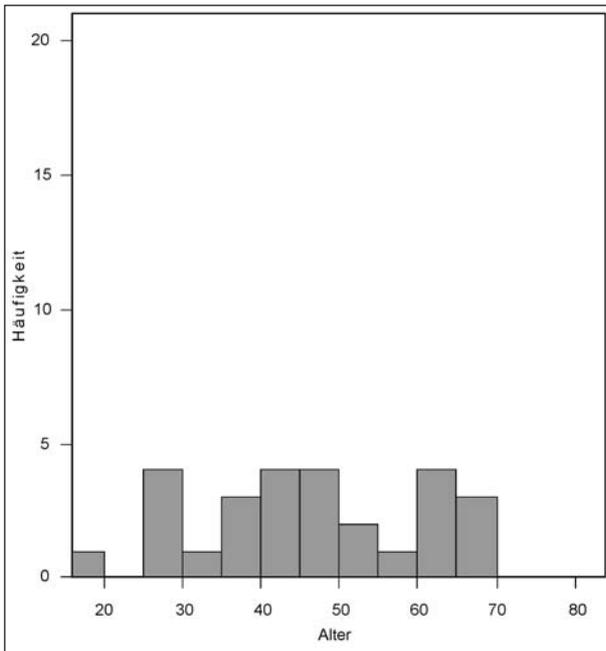


Bild 5.22: Altershäufigkeiten Kurzversion

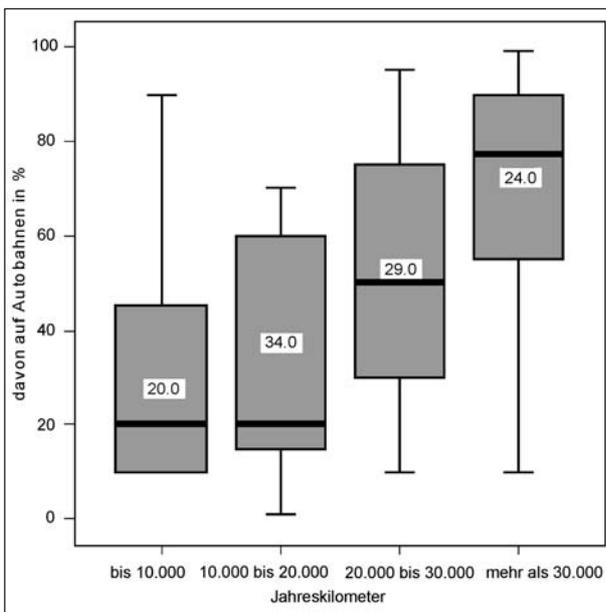


Bild 5.23: Jahreskilometer und deren prozentualer Anteil auf Autobahnen

Die Gesamtzahl der befragten Berufskraftfahrer beträgt 13 und wird damit als nicht repräsentativ betrachtet. Es stellte sich als erstaunlich schwierig heraus, die Lkw-Fahrer zu einer Mitarbeit zu bewegen, obwohl diese ihre gesetzlich vorgeschriebene Pause von 45 Minuten an der Raststätte absolvierten und ihnen auch die schon erwähnte finanzielle Entschädigung zugesagt wurde.

In Bild 5.23 sind die Jahreskilometerleistung und der prozentuale Anteil davon auf Autobahnen abgetragen.

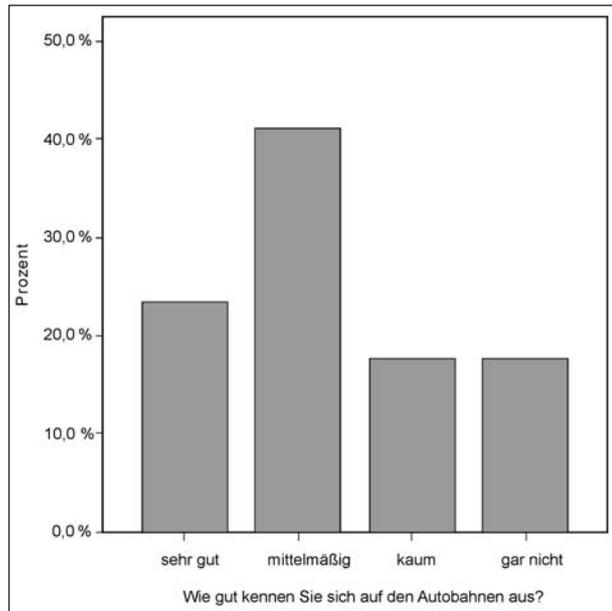


Bild 5.24: Ortskenntnisse der Probanden

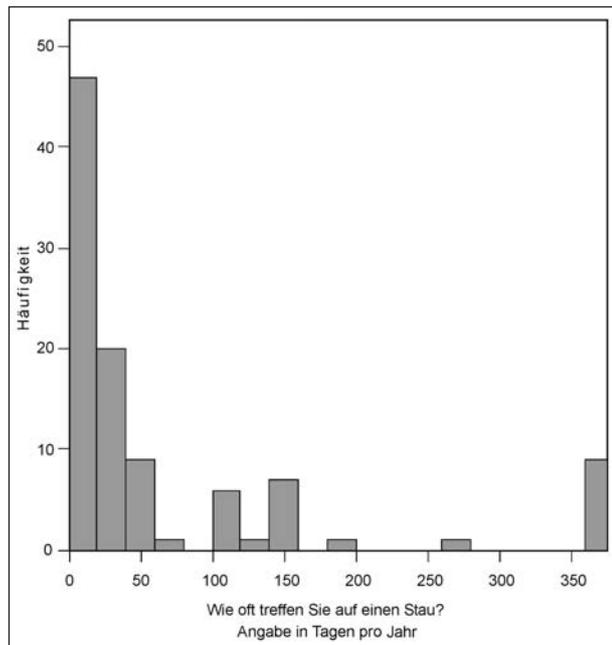


Bild 5.25: Häufigkeit, auf einen Stau zu treffen – Angabe pro Jahr

Die Ortskenntnisse auf den Autobahnen im Erhebungsgebiet sind in Bild 5.24 als prozentualer Anteil abgebildet.

Bild 5.25 veranschaulicht die angegebene Häufigkeit der Befragten, auf einen Stau zu treffen, umgerechnet in Tage pro Jahr. Acht Befragte gaben an, jeden Tag auf einen Stau zu treffen.

Auf die Frage nach der Nutzung von Reisezeitangaben antworteten 76 % der Befragten mit „ja“ und gaben an, welche sie schon einmal genutzt haben.

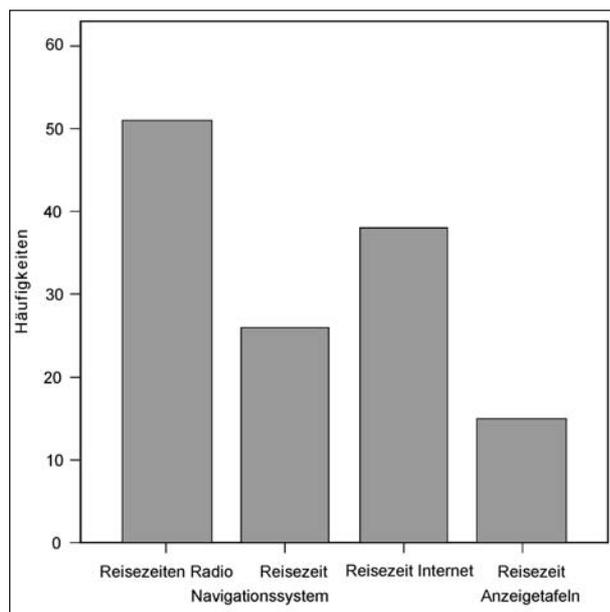


Bild 5.26: Nutzung von Reisezeitangaben

In Bild 5.26 sind die Häufigkeiten der Antworten abgetragen.

### 5.2.5 Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt analog zur Reihenfolge, in der die Befragung durchgeführt wurde.

#### Informationen zum Stau

Die Ergebnisse der ersten Frage zur gewünschten Information über den Stau ist in Bild 5.27 veranschaulicht. Die Information zur Staulänge wird dabei am häufigsten gewünscht (von 38 Probanden, 35,2 %), gefolgt von der Information zur Umfahrung des Staus (35 Probanden, 32,4 %) und auf Platz drei die Information über die Stauzeit (15 Probanden, 13,9 %). Es folgen auf Platz vier die Information über die nächste Abfahrt (11 Probanden, 10,2 %), auf den Plätzen fünf und sechs mit jeweils drei Probanden (2,8 %) die Angaben zur Art des Staus und wann dieser sich auflöst, auf dem vorletzten Platz mit zwei Probanden (1,9 %) die Aktualität der Meldung und auf dem letzten Platz die Information über den Ort des Stauendes (1 Proband, 0,9 %).

#### Interpretation der Planfälle

An dieser Stelle wird angemerkt, dass von den 81 Probanden (Langvariante) nur 63 in diese Auswertung einbezogen werden. 15 Befragte müssen aus-

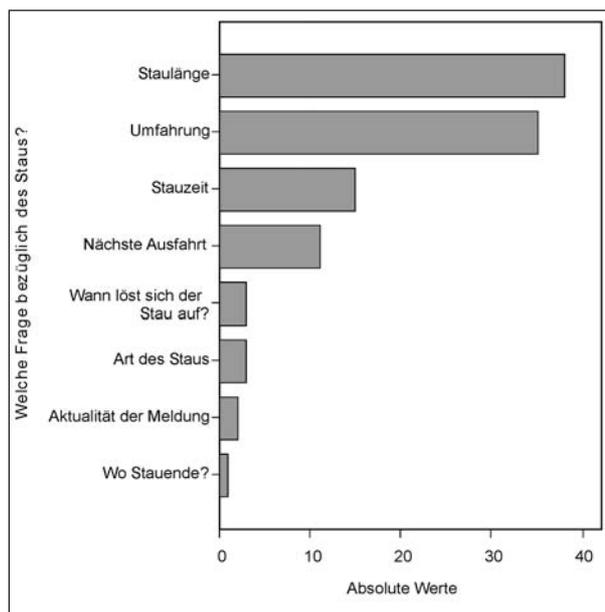


Bild 5.27: Gewünschte Stauinformation

geschlossen werden, da sie das Gesamtschild mit den darauf befindlichen Angaben zum Stau und der Umfahrungsmöglichkeit nicht richtig interpretierten. Auf diese Probanden wird in Kapitel 5.2.6 näher eingegangen. Bei drei Probanden war dieser Teil des Interviews durch eine defekte Audio-Datei nicht mehr eindeutig nachvollziehbar.

Da der Fokus der Untersuchung auf den Angaben zu Reisezeiten liegt, erfolgt die Auswertung der Planfälle ausschließlich im Hinblick auf diese. Die Angabe zur Staulänge wird dabei vernachlässigt. Aus diesem Grunde werden jeweils ähnliche Planfälle, die sich nur in der Angabe der Staulänge unterscheiden, zusammengefasst. Dies betrifft alle Planfälle, außer Planfall 1 (siehe Kapitel 5.1).

Eine gesonderte Bedeutung wird der Position des jeweilig gezeigten Planfalls in der Präsentation beigemessen. Es wird davon ausgegangen, dass die Präsentation und Interpretation eines Planfalls die darauf folgende Interpretation eines neuen Planfalls beeinflussen.

Es folgen die Erkennungsraten für die jeweiligen Paare von Planfällen. Die Planfälle in den Gruppen (mit und ohne Staulängenangabe) wurden jeweils 63 Probanden gezeigt, verteilt auf fünf Positionen. Es liegen mindestens zehn Interpretationen pro Position und Planfallpaar vor.

Planfälle 2 und 3 („+25 min“; „-“)

Insgesamt interpretierten 87,3 % aller Interviewten diese zwei Schilder richtig (siehe Tabelle 5.1). An

erster Position gezeigt, erkannten 92,8 % die Zeitangabe inhaltlich fehlerfrei. In den Positionen zwei (81,8 %), drei (84,6 %) und vier (76,9 %) fiel das Verständnis der Konzepte etwas geringer aus. Am häufigsten werden die Planfälle in Position 5 mit 100 % erkannt.

	Position					
	1	2	3	4	5	ges.
gezeigt	14	11	13	13	12	63
richtig	13	9	11	10	12	55
%	92,8	81,8	84,6	76,9	100,0	87,3

Tab. 5.1: Interpretation der Planfälle – Varianten 2 und 3

Planfälle 4 und 5 („+25 min“; „+10 min“)

Die Planfälle 4 und 5 wurden von 79,3 % der Befragten richtig erkannt (siehe Tabelle 5.2). Auf Position eins erkannten 69,2 % der Befragten die Bedeutung der zwei Zeitangaben korrekt. An Position 2 (90,0 %) und 3 (92,3 %) konnte die Erkennungsrate gesteigert werden. Diese fiel dann wieder auf den Positionen 4 (76,9 %) und 5 (71,4 %) ab.

Position	Position					
	1	2	3	4	5	ges.
gezeigt	13	10	13	13	14	63
richtig	9	9	12	10	10	50
%	69,2	90,0	92,3	76,9	71,4	79,3

Tab. 5.2: Interpretation der Planfälle – Varianten 4 und 5

Planfälle 6 und 7 („-“; „+15 min“)

Die Anzeigeconzepte 6 und 7 wurden insgesamt zu 38,1% richtig interpretiert, wobei die Fehleranzahl mit der Position der Schilder abnahm (siehe Tabelle 5.3). Die geringste Erkennungsrate ist in der Position 1 mit 25 % zu finden. In Position 2 (27,3 %) und 3 (38,5 %) fiel die Anzahl der Fehler schon geringer aus. Am häufigsten wurden die Zeitangaben in Position 4 und 5 mit jeweils 50 % Trefferquote richtig erkannt.

Position	Position					
	1	2	3	4	5	ges.
gezeigt	12	11	13	12	15	63
richtig	3	3	5	6	7	24
%	25,0	27,3	38,5	50,0	46,7	38,1

Tab. 5.3: Interpretation der Planfälle – Varianten 6 und 7

Planfälle 8 und 9 („-“; „-15 min“)

Die Schilder 8 und 9 wurden zu 69,8 % richtig interpretiert (siehe Tabelle 5.4). Die meisten Fehler traten bei der Interpretation in den Positionen 1 und 2 mit 63,6 % und 62,5 % richtig erkannten Zeitangaben auf. Auf Position 3 lag die Trefferquote bei 75,0 %, bei Position 4 bei 69,2 % und auf Position 5 bei 81,8 %.

Position	Position					
	1	2	3	4	5	ges.
gezeigt	11	16	12	13	11	63
richtig	7	10	9	9	9	44
%	63,6	62,5	75,0	69,2	81,8	69,8

Tab. 5.4: Interpretation der Planfälle – Varianten 8 und 9

Planfälle 10 und 11 („-“; „15 min Gewinn“)

Die beiden Anzeigeconzepte wurden von den Befragten zu 98,4 % richtig interpretiert (siehe Tabelle 5.5). Die Planfälle wurden, mit Ausnahme von Position 4 (91,7 %), auf allen anderen Positionen zu 100 % erkannt.

Position	Position					
	1	2	3	4	5	ges.
gezeigt	13	15	12	12	11	63
richtig	13	15	12	11	11	62
%	100,0	100,0	100,0	91,7	100,0	98,4

Tab. 5.5: Interpretation der Planfälle – Varianten 10 und 11

Vergleich der Planfälle

Bei der vergleichenden Schilderbewertung mit allen elf Planfällen sollen die drei besten und die drei schlechtesten Planfälle, unter den Kriterien Verständlichkeit und Nutzen in einer Stausituation, ausgewählt werden.

Zur Bildung einer Rangreihe wurden Plus- und Minuspunkte wie folgt vergeben: 3 Punkte für das

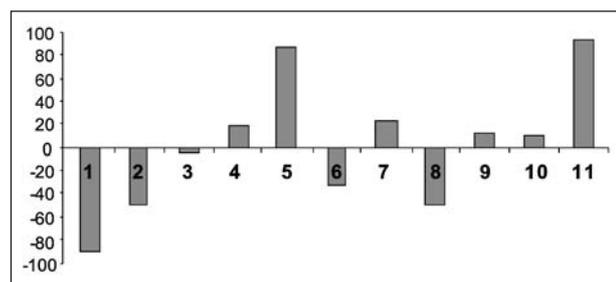


Bild 5.28: Punkteverteilungen für die einzelnen Schildvarianten

beste, 2 Punkte für das zweitbeste, 1 Punkt für das drittbeste, -3 Punkte für das schlechteste, -2 Punkte für das zweitschlechteste und -1 Punkt für das drittschlechteste Schild.

In Bild 5.28 ist die Punkteverteilung für die elf Planfälle erkennbar. Die Planfälle 5 und 11 sind mit einer Summe von 87 und 88 Punkten am besten bewertet worden. Der Planfall 1 wird mit einer Summe von -90 am schlechtesten bewertet, gefolgt von den Planfällen 2 und 8 mit jeweils einer Summe von -51 und -50. Die restlichen Planfälle heben sich nicht aus dem Mittelfeld ab. Es fällt auf, dass von den zusammen betrachteten Planfällen (2 und 3, 4 und 5, 6 und 7, 8 und 9, 10 und 11) immer die Variante ohne Angabe der Staulänge die schlechtere Bewertung bekommt.

### Offene Planfallgestaltung

Die Aufgabe der freien Gestaltung eines Anzeigeconzeptes dient zur Erfassung nicht bedachter Wünsche der Probanden. Tabelle 5.6 gibt einen Überblick über die Häufigkeiten der gewünschten Angaben.

Standardroute %		Alternativroute %	
4 km	84	15 min Gewinn	54
+25 min	70	+10 min	23
		km Umfahrung	15
		-15 min	7

Tab. 5.6: Gewünschte Angaben in % der Probanden

Bezüglich des Staus wird die Angabe „4 km“ von 84 % der Befragten favorisiert. Die Zeitangabe „+25 min“ wird von 70 % der Probanden gewünscht. Hinsichtlich der Umfahrung wird die Angabe „15 min Gewinn“ mit 54 % am häufigsten gewählt, gefolgt von „+10 min“ (23 %) als Zeitdauer der Umfahrung. Die Kilometerangabe der Umfahrung wird von 15 % der Probanden als Zusatzangabe gewünscht. Die Angaben „-15 min“ und „+15 min“ wurden von 7 % bzw. 1 % der Probanden gewünscht.

Die am häufigsten gestalteten Anzeigeconzepte sind:

1. eine Mischform aus den bisherigen Konzepten 3 und 11 (29,6 % der Probanden, Bild 5.29),

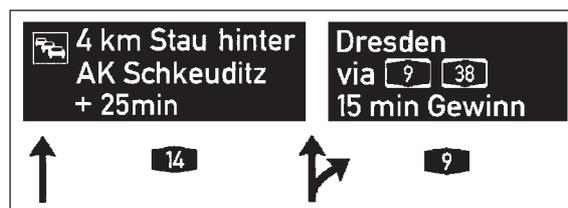


Bild 5.29: Platz eins der freien Gestaltung (Mischform)

2. das bisherige Anzeigeconzept 5 (15,7 %, Bild 5.30),

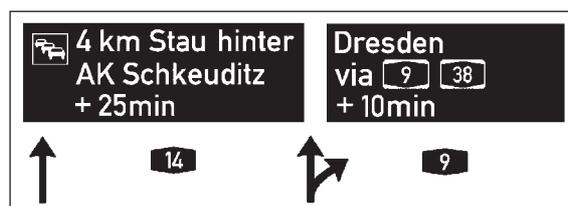


Bild 5.30: Platz zwei der freien Gestaltung (Planfall 5)

3. das bisherige Anzeigeconzept 11 (8,3 %, Bild 5.31).

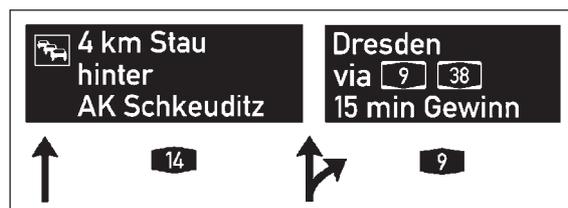


Bild 5.31: Platz drei der freien Gestaltung (Planfall 11)

### 5.2.6 Fehlerhafte Interpretationen des Gesamtschildes

Wie bereits in Kapitel 5.2.5 angedeutet, bereitete einigen Probanden die Interpretation des Gesamtschildes Schwierigkeiten. Diese Fehlinterpretationen werden in diesem Kapitel eingehender betrachtet.

Die Planfälle wurden bei der naiven Interpretation von 15 der 78 mit einer auswertbaren Langvariante Befragten nicht richtig verstanden (19,2 %). Die häufigsten Fehler bei der Interpretation der Schilder waren:

- Das komplette Schild wurde nicht verstanden (Teilung des Schildes, Probanden vermuteten alle Angaben für die Strecke A 14 Richtung Dresden, 7 Probanden),
- der Stau beginnt 4 km nach dem Kreuz Schkeuditz (6 Probanden),
- ein Proband konnte „via“ nicht interpretieren und

- ein Proband vermutete die Umleitung über die A 9 oder die A 38.

Eine Vermutung war, dass es möglicherweise einen Zusammenhang zwischen dem Alter der Probanden und der Fehlinterpretation geben könnte. Eine Korrelation erbrachte signifikante Ergebnisse ( $r = .452, p < .001$ ).

**5.2.7 Interpretation**

Im Falle eines Verkehrsstaus werden am häufigsten Informationen über eine Ausweichmöglichkeit erbeten (Umfahrung und nächste Abfahrt). Es folgen Informationen über die Staulänge, dann über die Stauzeit. Diese Ergebnisse bestätigen die Untersuchung von FÄRBER und FÄRBER et al. [21].

Bezüglich der naiven Interpretation schneiden die Planfälle 10 und 11 (/, „15 min Gewinn“) am besten ab. Sie werden auf allen Positionen sehr gut erkannt, auch auf der ersten (unbeeinflusst von vorherigen Planfällen). Es folgen auf Platz zwei die Planfälle 2 und 3 („+25 min“, /), gefolgt von 4 und 5 („+25 min“, „+10 min“). Bei den letzteren Planfällen wurden auf der Position 1 (also völlig unbeeinflusst) nur zwei Drittel der gezeigten Zeitangaben richtig interpretiert. Das zeigt, dass die Probanden bei einem Erstkontakt mit diesem Schild möglicherweise Probleme haben, diese aber durch einen Lernprozess kompensiert werden können. Auf dem vierten Platz folgen die Varianten 8 und 9 (/, „-15 min“). Auf dem letzten Platz liegen die Planfälle 6 und 7 (/, „+15 min“), mit einer sehr geringen Erkennungsrate von knapp 40 %. Hier lag der häufigste Fehler in der Interpretation der Zeitangabe als eine Fahrzeitverlängerung auf der Alternativroute und nicht als eine Angabe eines Reisezeitgewinns.

Bei der vergleichenden Bewertung der Planfälle wurden die Planfälle 5 („+ 25 min“, „+ 10 min“) und 11 (/, „15 min Gewinn“) am besten bewertet, die Planfälle 1 (Bezugsfall ohne Reisezeitangaben), 2 („+25 min“, /) und 8 (/, „-15 min“) am schlechtesten. Auch wurde deutlich, dass die Probanden Planfälle ohne Staulängenangabe grundlegend schlechter bewerteten.

In der freien Gestaltung wurde noch einmal deutlich, welche Planfälle von den Probanden gewünscht wurden. Dazu zählen die Mischform aus Planfall 3 („+25 min“, /) und 11 (/, „15 min Gewinn“), der Planfall 5 („+25 min“, „+10 min“) und der Planfall 11 (/, „15 min Gewinn“).

**5.2.8 Fazit**

Nach eingehender Betrachtung und Diskussion der Ergebnisse der Vorbefragung wurden, in Abstimmung mit dem Auftraggeber und dem Betreuerkreis, die folgenden vier Planfälle für die weitere Untersuchung im wahrnehmungspsychologischen Experiment ausgewählt:

1. Bezugsfall – nur Angabe der Staulänge (Planfall 1, Bild 5.32),



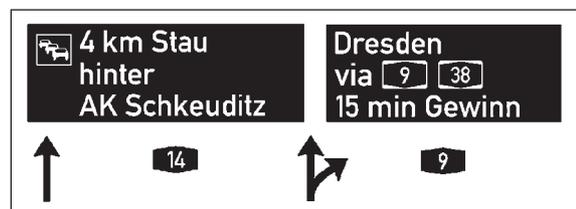
**Bild 5.32:** Auswahl 1 für die weitere Untersuchung – Bezugsfall

2. Planfall mit der Angabe der Staulänge, Staudauer und Reisezeitverzögerung durch Nutzung der Umfahrung (Planfall 5, Bild 5.33),



**Bild 5.33:** Auswahl 2 für die weitere Untersuchung – Planfall 5

3. Planfall mit der Angabe der Staulänge, und des Zeitgewinns im Vergleich zum Stau durch die Nutzung der Umfahrung (Planfall 11, Bild 5.34),



**Bild 5.34:** Auswahl 3 für die weitere Untersuchung – Planfall 11

4. Planfall mit der Angabe der Staulänge, Staudauer und des Zeitgewinns im Vergleich zum Stau durch die Nutzung der Umfahrung (Mischform aus Planfall 3 und 11, Bild 5.35).



Bild 5.35: Auswahl 4 für die weitere Untersuchung – Mischform aus Planfall 3 und 11

Im folgenden Kapitel wird die Untersuchung dieser ausgewählten Planfälle beschrieben.

## 5.3 Wahrnehmungspsychologisches Laborexperiment

### 5.3.1 Einführung

#### Ziel des Laborexperiments

Ziel des Laborexperiments war es, eine Gestaltungsempfehlung für die Einbettung von Reisezeitangaben in die dWiSta-Tafeln zu geben. Diese stützt sich auf die Bewertung der verbliebenen dWiSta-Varianten im Hinblick auf:

- den Zeitbedarf für die vollständige Informationsaufnahme (objektiv),
- den Zeitbedarf für die Entscheidung unter vorgegebenen Kriterien (objektiv) und
- die subjektive Beurteilung der Anzeigeconzepte.

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Befragung wurden vier Darstellungsmöglichkeiten der Reisezeitangaben zur weiteren Untersuchung im Laborexperiment ausgewählt (siehe Kapitel 5.2.8).

#### Rahmenbedingungen

Die mögliche Beeinflussung eines Verkehrsteilnehmers mit Hilfe von dWiSta-Tafeln ist durch zwei psychologische Prozesse gekennzeichnet, die

- a) vollständige Informationsaufnahme und
- b) Entscheidung zur weiteren Routenwahl.

Um eindeutig interpretierbare Ergebnisse zu erhalten, wurde eine experimentelle Trennung dieser beiden Prozesse vorgeschlagen. Im Folgenden werden die zwei Teilbereiche näher beschrieben.

Zeitbedarf für die vollständige Informationsaufnahme

Die Ergebnisse der Befragung zeigen, dass sich Fahrer so viele Informationen wie möglich wünschen. Gerade hier stellt sich jedoch die Frage, ob Schildvarianten mit einer hohen Informationsdichte in der realen Fahrsituation überhaupt vollständig gelesen werden können. Ein Teil des Experiments befasste sich daher ausschließlich mit der Erfassung der Zeit, die benötigt wird, um alle Informationen auf der dWiSta-Tafel aufzunehmen. Die Ergebnisse sollen zeigen, wie schnell die verschiedenen dWiSta-Varianten im Vergleich vollständig gelesen werden können, unabhängig von der Interpretation der gezeigten Informationen.

Art und Dauer der Entscheidung unter vorgegebenen Kriterien

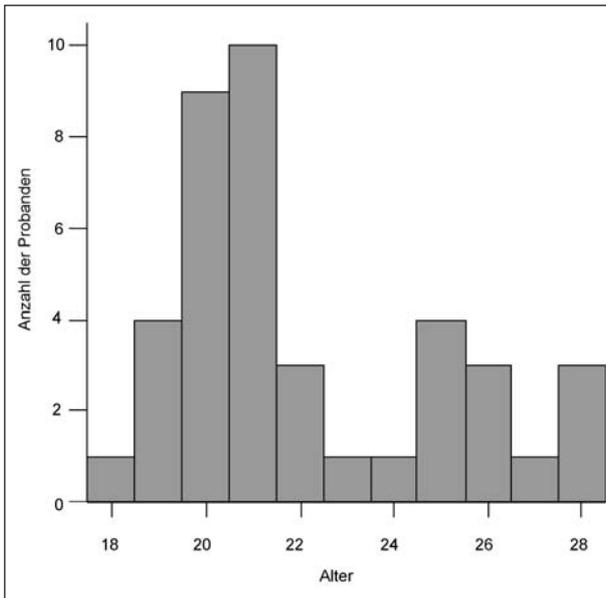
Nach der Informationsaufnahme erfolgt die Interpretation der Informationen im Hinblick auf ihre Relevanz für die eigene Strecke. Sollte sich die Information als relevant erweisen, erfolgt eine Entscheidung über die weitere Routenwahl, unter der Einwirkung verschiedener Einflussfaktoren. Zu diesen Faktoren zählen etwa die Länge und die Dauer des Staus sowie der Umfahrung, Zeitdruck, allgemeines Risikoverhalten des Fahrers, finanzielle Beweggründe, das Vertrauen in die Zeitangaben etc. Um die dWiSta-Varianten auf der Ebene der Verständlichkeit bzw. Interpretierbarkeit vergleichen zu können, musste von den Probanden eine Entscheidung abgefragt werden, die eindeutig als richtig oder falsch beurteilt werden konnte. Deshalb wurde den Probanden vorgegeben, nach welchen Kriterien die Entscheidung getroffen werden sollte.

### 5.3.2 Methode

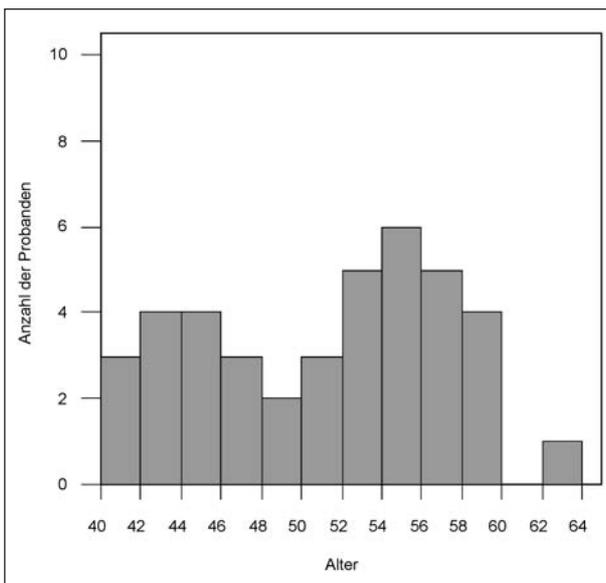
#### Stichprobe

Um eine geschichtete Stichprobe zu erhalten, wurden zwei verschiedene Altersgruppen untersucht. 40 Probanden wurden aus der Altersgruppe 18 bis 30 Jahre rekrutiert (Studenten der TU Chemnitz) und 40 Probanden aus der Altersgruppe zwischen 40 und 65 Jahren (Personen aus der Versuchspersonendatenbank, Angehörige). Um Überschneidungen und Ähnlichkeiten zu vermeiden, wurde die Altersgruppe der 30- bis 40-Jährigen bewusst ausgeschlossen.

Das Durchschnittsalter der Altersgruppe 18-30 betrug 22,2 Jahre (siehe Bild 5.36). Die Probanden



**Bild 5.36:** Altersverteilung der Gruppe der 18- bis 30-Jährigen



**Bild 5.37:** Altersverteilung der Gruppe der 40- bis 65-Jährigen

der Altersgruppe 40-65 hatten ein mittleres Alter von 50,6 Jahren (siehe Bild 5.37).

Hinsichtlich der Fahrleistung unterschieden sich die Altersgruppen erheblich. Während innerhalb der jüngeren Altersgruppe lediglich 30 % der Probanden mehr als 10.000 km pro Jahr fuhren, betrug dieser Wert in der Altersgruppe der 40- bis 65-Jährigen 65 %.

Für Teil 1A und 1B des Experiments wurde ein „between group-design“ gewählt, das heißt, jede Versuchsperson sah immer nur eine der vier dWiSta-Varianten in verschiedenen Stausituationen. Entsprechend der Anzahl der zu untersuchen-

Exp.-Gruppe	Altersgruppe	
	18- bis 30-Jährige	40- bis 65-Jährige
Variante 1	10	10
Variante 2	10	10
Variante 3	10	10
Variante 4	10	10

**Tab. 5.7:** Versuchspersonen

den Anzeigekonzepte gab es vier Experimentalgruppen à 20 Versuchspersonen, von denen jeweils zehn aus einer der beiden Altersgruppen stammten (siehe Tabelle 5.7).

Die ungleiche Verteilung der Fehlervarianzen in den einzelnen Gruppen stellt eine mögliche Quelle von Fehlinterpretationen der Ergebnisse dar. Um dieses Problem von vornherein auszuschließen, wurde mit Hilfe eines Levene-Tests geprüft, ob die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über die Gruppen hinweg gleich verteilt ist. Da dieser Test nicht signifikant ausfiel, kann von einer generellen Gleichverteilung der Fehlervarianz zwischen den Gruppen ausgegangen werden.

In den weiteren Teilaufgaben des Experiments erfolgte der Test im „within group design“, das heißt, alle 80 Probanden lasen alle Schilder (Teilaufgabe 2) und bewerteten diese im Vergleich (Teilaufgabe 3).

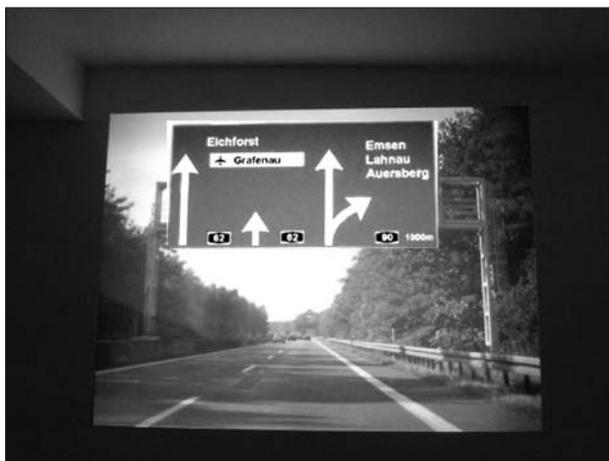
**Versuchsaufbau**

Das wahrnehmungspsychologische Experiment wurde in einem Laborraum der TU Chemnitz durchgeführt. Die Probanden nahmen auf einem Autositz Platz, der ihnen das Anlegen des Kopfes an die Kopfstütze ermöglichte (siehe Bild 5.38). Dies war für eine ruhige Kopfposition wichtig, da sonst die Blickdatenqualität gemindert werden könnte.

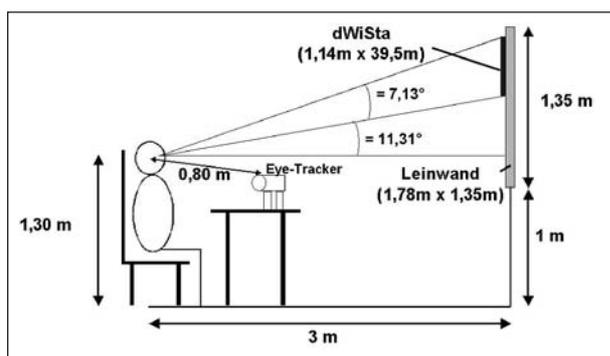
Die Präsentation der Experimentalaufgaben erfolgte über einen Video-Projektor auf eine ca. 3 m entfernte Projektionsfläche (siehe Bild 5.39.) Die statisch-sequenzielle Darbietung wurde von einem PC mit der Software E-Prime (Psychology Software Tools, Inc., Pittsburgh, PA, USA) geliefert. Diese ermöglichte mit Hilfe einer mit Tastern ausgestatteten so genannten „Reaktionszeit-box“ die präzise Erfassung der Reaktionszeiten.



**Bild 5.38:** Autositz und Eye-Tracker, sowie Platz des Versuchsleiters hinten rechts



**Bild 5.39:** Projektion der Autobahnwegweiser auf Leinwand



**Bild 5.40:** Skizze des Versuchsaufbaus

Der Versuchsaufbau wurde so gestaltet (siehe Bild 5.40), dass alle dargestellten Verkehrsschilder (incl. dWiSta) in Größe und Höhe dem Netzhautabbild der Schilder in der realen Situation entsprachen (Abstand ca. 50 m).

Die Erfassung der Blickbewegungen wurde mit dem Eye-Tracker FaceLab (Version 4.3) der Firma

Seeing-Machines realisiert. Zwei Kameras sowie Infrarotdioden wurden auf dem Tisch vor der Versuchsperson positioniert. Es wurde im „Precision-Mode“ gemessen, der eine räumliche Genauigkeit der Messung von ca.  $1^\circ$  Sehwinkel ermöglichte.

Der Versuchsleiter gab während des Experiments verbale Instruktionen. Des Weiteren war er für die Kalibrierung und Überwachung der Blickmessungen zuständig.

Die subjektiven Bewertungen wurden mit Hilfe von Fragebögen auf Papier realisiert.

### Versuchsablauf

Das Experiment dauerte ca. 60 min und bestand aus verschiedenen Teilaufgaben. Nach der Vorbereitung folgte die Teilaufgabe 1A, bei der Entscheidungszeiten in 24 Stausituationen erfasst wurden. Teilaufgabe 2 diente zur Erfassung von Betrachtungszeiten. Es folgte die subjektive Bewertung (Teilaufgabe 3). In den Experimentalgruppen 2 und 4 folgte an diesem Punkt zusätzlich Teilaufgabe 1B in einer abgewandelten Form der Entscheidungsaufgabe aus Teil 1A. Zum Abschluss wurden biografische Angaben erfasst und die Aufwandsentschädigung ausgezahlt.

Im Folgenden werden die einzelnen Teilaufgaben näher beschrieben.

### Vorbereitungen und Einführung

Nach der Begrüßung wurden die Probanden zufällig einer der vier Experimentalgruppen zugewiesen. Diese entsprachen den vier dWiSta-Varianten (siehe Kapitel 5.2.8). Dann wurde der Eye-Tracker mit Hilfe eines Kalibrierungsprozesses an den jeweiligen Probanden angepasst.

### Teil 1A: Entscheidung unter vorgegebenen Kriterien (dWiSta-Varianten 1 bis 4)

In Teil 1A des Experiments wurden die Probanden im „between group design“ getestet, d. h., je nach Experimentalgruppe sahen sie die Wegweiser nur in einer der vier Darstellungsvarianten.

Die Bilder 5.41 bis 5.44 machen deutlich, welche Informationen innerhalb der Gruppen unverändert blieben.

1. Bezugsfall

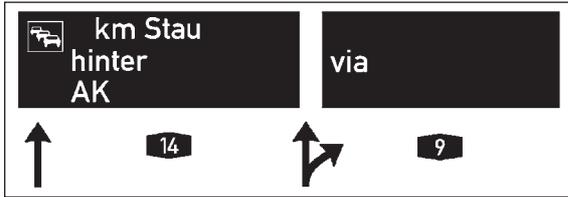


Bild 5.41: Konstante Elemente in Variante 1

2. Vergleich der Zeitangaben

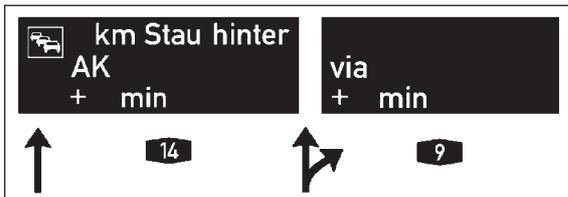


Bild 5.42: Konstante Elemente in Variante 2

3. Angabe des Gewinns

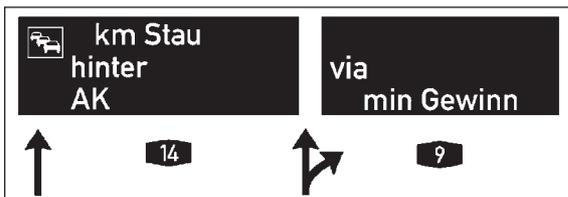


Bild 5.43: Konstante Elemente in Variante 3

4. Mischform aus Planfall 2 und 3

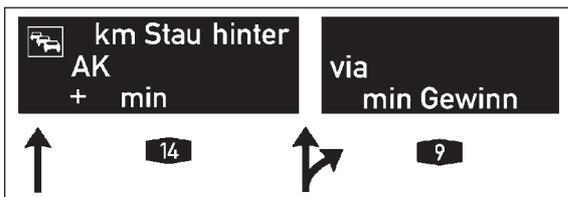


Bild 5.44: Konstante Elemente in Variante 4

Es änderten sich, je nach Stausituation, die fiktiven Fernziele, Autobahnkreuznamen, Autobahnnummern, Staulängen, Staudauern und zusätzliche Dauern durch die Nutzung der Umfahrung im Vergleich zur Standardroute ohne Stau und Zeitgewinne.

Um eine zeitintensive Lernphase des Autobahnnetzes zu vermeiden, wurden die Probanden vor jedem Durchgang in eine neue Situation eingeführt. Es wurden insgesamt 24 Stausituationen präsentiert. Diese waren für alle Experimentalgruppen identisch. Das Fernziel für die Fahrer befand sich entweder auf dem weiterführenden Abschnitt der Autobahn oder auf dem Abschnitt, der nach der Abfahrt folgt. Der Stau lag entweder auf dem für das

		STAU befindet sich auf:	
		der weiterführenden Autobahn	der abzweigenden Autobahn
FERN-ZIEL befindet sich auf:	der weiterführenden Autobahn	Entscheidungskriterium erfüllt <b>Typ 1</b> n = 4	Entscheidungskriterium nicht erfüllt <b>Typ 2</b> n = 4
	der abzweigenden Autobahn	Relevanzkriterium nicht erfüllt <b>Typ 6</b> n = 4	Relevanzkriterium nicht erfüllt <b>Typ 5</b> n = 4

Tab. 5.8: Konstruierte Stausituationen

Fernziel relevanten Abschnitt (16 Situationen mit erfülltem Relevanzkriterium) oder auf der irrelevanten Strecke (8 Distraktoren, Relevanzkriterium nicht erfüllt). Bei einem relevanten Stau mussten die entsprechenden Zeit- und Kilometerangaben verarbeitet werden. Die Probanden wurden instruiert, der Umleitungsempfehlung nur zu folgen, wenn der Stau mindestens 5 km lang war und beim Nutzen der Umfahrung mindestens 15 Minuten eingespart werden konnten. Dies galt allerdings nur bei den Schildvarianten 2 bis 4. Bei Schildvariante 1 sollte die Alternativroute nur dann genutzt werden, wenn der Stau mindestens 5 km war, da diese dWiStavariante keine Zeitangaben beinhaltet.

Die Probanden mussten demnach in jeder Situation die dargestellten Informationen verarbeiten, um die richtige Entscheidung zu treffen. Anhand der Ortsnamen musste die Relevanz des Staus abgeleitet werden. Die Zeit- und Kilometerangaben mussten beachtet werden, um die vorgegebenen Entscheidungskriterien einzuhalten.

Die Matrix der Tabelle 5.8 gibt einen Überblick über die konstruierten Stausituationen. Pro Bedingung wurden jeweils vier Situationen erstellt. In den grauen Feldern ist das Relevanzkriterium (Stau auf eigener Route) erfüllt.

Instruktion

Vor Beginn der Aufgabe wurden die Probanden durch den Versuchsleiter verbal instruiert. Hierbei wurde veranschaulicht, welche Funktion die dynamischen Wegweiser haben, welche möglichen Situationen auftreten können und wie die Aufgaben zu bewältigen sind. Anhand eines Beispiels (siehe Bild 5.45) wird deutlich gemacht, dass ein Stau sowohl auf der Standardroute als auch auf der Alternativroute angezeigt werden kann. Den Probanden wurde zudem veranschaulicht, dass dieser Stau je

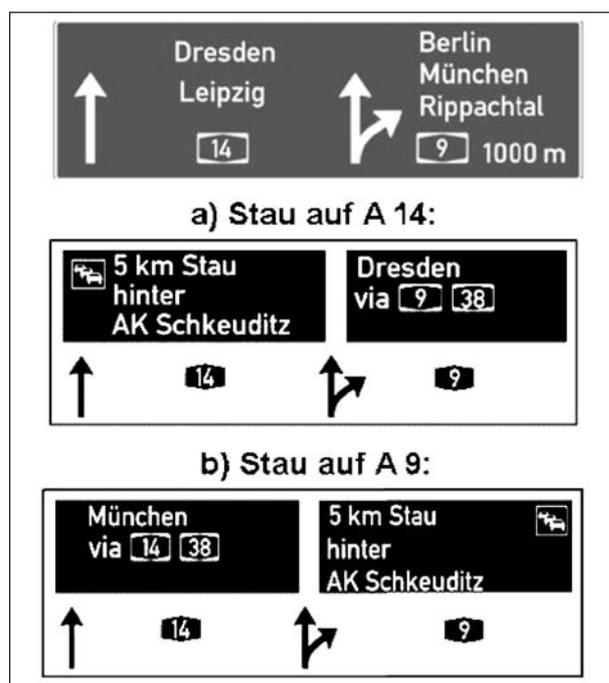


Bild 5.45: Reales Beispiel (Großraum Leipzig)

nach Ziel (Dresden vs. München) relevant oder irrelevant sowie das Entscheidungskriterium erfüllt oder nicht erfüllt sein kann.

Die Versuchsteilnehmer wurden des Weiteren aufgefordert, so schnell und genau wie möglich zu arbeiten. Als zusätzlicher Anreiz wurde eine finanzielle Belohnung für die besten Versuchspersonen ausgeschrieben.

### Übungsdurchgänge

Nach der Instruktion hatten die Probanden in acht Übungsdurchgängen die Möglichkeit, sich mit dem Ablauf der Aufgabe vertraut zu machen. Es wurden hier bewusst alle sechs möglichen Situationstypen verwendet, so z. B. Durchgänge mit nicht erfüllten Entscheidungskriterien oder einem nicht relevanten Stau. Die Probanden mussten mindestens sechs der acht Durchgänge korrekt lösen, um mit dem eigentlichen Test beginnen zu können. Andernfalls musste der Übungsblock so oft wiederholt werden, bis die Fehlergrenze nicht mehr überschritten wurde. Die Übungsphase sollte sicherstellen, dass die Probanden in ausreichendem Maße mit der Aufgabe vertraut waren und diese trainiert haben.

### Experimentaldurchgänge

Zu Beginn jedes Durchgangs nannte der Versuchsleiter das jeweils anzusteuernde Fernziel (Bsp.: „Eichforst“). Anschließend folgten Bilder einer zwei-

spurigen Autobahn mit Wegweisern in der nachfolgenden Reihenfolge:

- Ankündigung des Kreuzes (siehe Bild 5.46)



Bild 5.46: Aufgabe 1A – Darbietung der Ankündigung des Kreuzes

- Vorwegweiser (siehe Bild 5.47)



Bild 5.47: Aufgabe 1A – Darbietung des Vorwegweisers

- dWiSta-Tafel (siehe Bild 5.48)

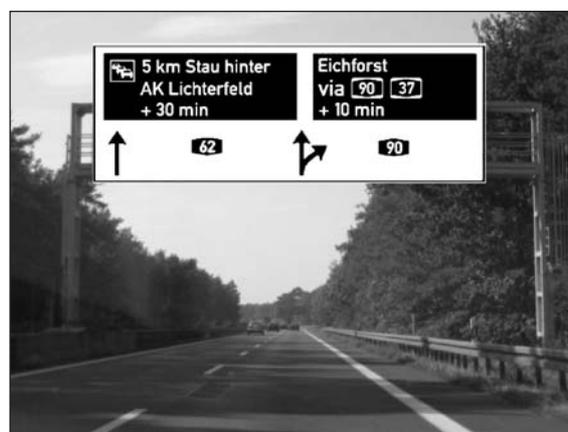


Bild 5.48: Aufgabe 1A – Darbietung des dWiSta (hier Variante 2)

- weißer Bildschirm.

Die Darbietungszeit der dWiSta-Tafel betrug fünf Sekunden. Die Entscheidungszeit (Zeitbedarf für eine Entscheidung unter vorgegebenen Kriterien) begann mit der Präsentation der dWiSta-Tafel und endete mit einem Knopfdruck der Versuchsperson auf eine der beiden Tasten (weiter geradeaus oder abfahren). Die Entscheidung über die Weiterfahrt konnte erfolgen, sobald die Versuchsperson den dynamischen Wegweiser sah. Nach fünf Sekunden wurde dieser ausgeblendet und mit einem weißen Bildschirm ersetzt, wobei sich der Proband weiterhin entscheiden konnte.

Durch die in der Instruktion gegebenen Relevanz- und Entscheidungskriterien konnte die Richtigkeit jeder Antwort überprüft werden. Im Anschluss an jeden Durchgang erhielt der Proband jeweils eine Rückmeldung über die Richtigkeit der gegebenen Antwort.

Als abhängige Variablen wurden erfasst:

- Zeitbedarf zur Entscheidung im Gruppen- und Altersvergleich,
- Fehler bei den Entscheidungen im Gruppen- und Altersvergleich,
- Betrachtungszeiten der einzelnen Zeitangaben im Gruppen- und Altersvergleich und
- Lernverläufe im Gruppen- und Altersvergleich.

Randbemerkung – Tracking- Aufgabe

Es wurde davon abgesehen, eine Tracking-Aufgabe, die die Fahraufgabe nachbilden sollte, zu verwenden. Da es große Unterschiede bei der Verteilung der Aufmerksamkeitsressourcen und Leistung gibt, hätte die Aufgabe eine zusätzliche Varianz in den Lese- und Entscheidungszeiten bewirkt und damit die Interpretation der Ergebnisse erschwert. Dieses „Rauschen“ hätte Unterschiede zwischen den Schildvarianten verdecken können.

Teil 2: Vollständige Informationsaufnahme

Im zweiten Teil der Untersuchung wurde der Zeitbedarf zur vollständigen Informationsaufnahme erfasst. Dazu wurden den Probanden alle vier dWiSta-Varianten mit unterschiedlichen Inhalten randomisiert dargeboten. Insgesamt wurden 20 dWiSta-Tafeln präsentiert, fünf pro dWiSta-Variante. Um eine Vergleichbarkeit zwischen den Schil-

dern zu gewährleisten, unterschieden sich die fünf Schilder pro Variante in der Wortlänge für die einzelnen Orts- und Kreuznamen nicht. Der Bekanntheitsgrad der einzelnen Namen wurde kontrolliert, indem künstliche Orts- und Kreuzbezeichnungen verwendet wurden. In einem Vortest wurden verschiedene fiktive Ortsnamen hinsichtlich Lesezeiten und Bekanntheitsgrad untersucht, um die dWiSta-Tafeln dahingehend gleich zu gestalten.

Die Probanden wurden instruiert, die dWiSta-Tafeln (siehe Bild 5.49) vollständig zu lesen, mit dem Hinweis, dies so schnell und so genau wie möglich zu tun. Zur Kontrolle wurde den Probanden mitgeteilt, dass ihre Blickbewegungen aufgezeichnet würden sowie in unregelmäßiger Reihenfolge Abfragen zu einzelnen Schildelementen zu erwarten seien (siehe Bild 5.50). Es wurde jedoch ausdrücklich darauf hingewiesen, dass diese Aufgabe nicht als Gedächtnisaufgabe zu betrachten sei. Die Aufgabenstellung sollte die Probanden dazu auffordern, alle Angaben auf dem Schild zu lesen.



Bild 5.49: Aufgabe 2 – Darbietung der dWiSta



Bild 5.50: Aufgabe 2 – zufällige Abfrage

Vor Beginn der Testphase wurden die Probanden mit der Aufgabe vertraut gemacht. Sie sahen drei beispielhafte dWiSta-Tafeln sowie eine mögliche Testfrage.

Im Experiment begann die Zeitmessung mit der Präsentation der dWiSta-Tafel. Mit einem Knopfdruck beendeten die Probanden die Präsentation und bestimmten somit selbst, welche Darbietungsdauer sie benötigten, um alle Informationen aufzunehmen.

Als abhängige Variablen wurden erfasst:

- Zeitbedarf zur vollständigen Informationsaufnahme und
- Richtigkeit der Antworten auf zufällige Abfrage (zur Kontrolle).

#### Teil 3: Subjektive Bewertung

Im dritten Teil der Untersuchung wurden die Versuchspersonen gebeten, alle vier Varianten hinsichtlich der Kriterien Lesbarkeit, Verständlichkeit und Nutzen mit Hilfe eines Fragebogens vergleichend zu bewerten.

#### Fragen zur subjektiven Bewertung

Die Probanden sollten jeweils subjektiv zu jeder Variante aufzeigen, inwieweit sie den in Tabelle 5.18 aufgeführten Aussagen zustimmen oder diese ablehnen würden.

In einer zusätzlichen Frage wurden die Probanden gebeten, die verschiedenen dWiSta-Varianten hinsichtlich der drei Hauptkriterien in eine Rangreihe zu bringen. In Abwägung der einzelnen Kriterien sollten die Probanden abschließend ihre persönlich favorisierte Variante auswählen und diese Wahl begründen. Aus den Ergebnissen des in Papierform ausgegebenen Fragebogens ergab sich dann eine Rangreihe der vier dWiSta-Varianten hinsichtlich der verschiedenen Dimensionen.

#### Teil 1B: Entscheidung unter vorgegebenen Kriterien (nur dWiSta-Varianten 2 und 4)

Dieser Teil entsprach in den Grundzügen dem Teil 1A, verglich aber nur die dWiSta-Varianten 2 und 4 unter den vorgegebenen Kriterien Staudauer mindestens 25 min und Zeitersparnis (Gewinn) mindestens 15 min. Dies erfolgte, da beide Varianten

einen Vergleich hinsichtlich der Staudauer (nicht Staulänge) ermöglichen, der für das Projekt von Interesse sein könnte.

#### Teil 4: Biografische Angaben

Analog zur Vorbefragung wurden zunächst allgemeine Angaben wie Alter, Geschlecht, Beruf bzw. Studienfach abgefragt. Weiterhin beinhaltete der Fragebogen Items zu Fahrleistung (insbesondere auf Autobahnen), Führerscheinbesitz und bereits genutzten Quellen für Reisezeitangaben.

#### 5.3.3 Ergebnisse

Zum besseren Verständnis der Ergebnisse werden im Folgenden einige wichtige statistische Verfahren und Darstellungsformen beschrieben.

#### Boxplot

Das Boxplot (siehe Bild 5.51) dient zur übersichtlichen grafischen Darstellung numerischer Daten. Es beinhaltet sowohl Lage- als auch Streuungsmaße. Verschiedene Verteilungen können daher sehr gut miteinander verglichen werden.

Begrenzt durch das obere und untere Quartil befinden sich innerhalb der Box 50 % aller Datenpunkte, wobei der Median den Wert in der Mitte aller Werte angibt (nicht den Mittelwert). Die Länge der unteren und oberen „Zäune“ (bzw. „Whisker“) beträgt maximal das 1,5fache des Abstandes zwischen der obe-

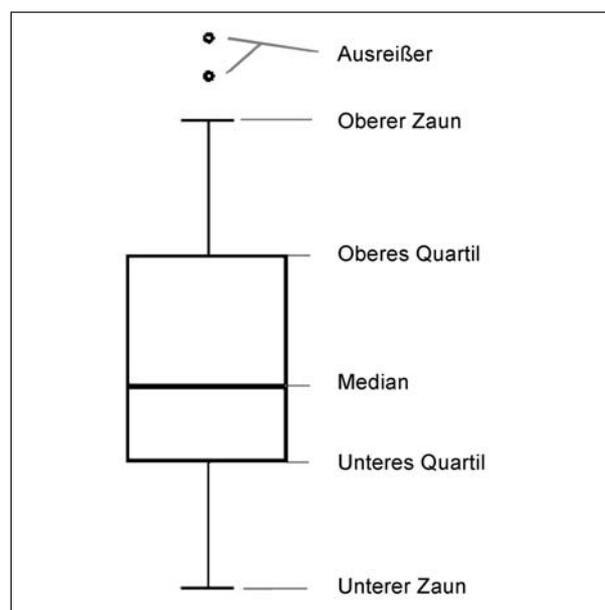


Bild 5.51: Boxplot (schematisch)

ren und unteren Begrenzung der Box (der so genannte Interquartilsabstand). Extremwerte, die jenseits dieser Zäune liegen, werden als „Ausreißer“ bezeichnet.

Varianzanalyse

Die ANOVA (Varianzanalyse/Analysis of Variance) ist ein inferenzstatistisches Verfahren, welches den Einfluss einer bzw. mehrerer unabhängiger Variablen/Faktoren (z. B. Alter, Darstellungsvariante) auf eine abhängige Variable (z. B. Entscheidungszeit) erfasst. Geprüft wird, ob sich die Varianz zwischen den Gruppen (Treatment-Varianz) von der Varianz innerhalb der Gruppen (Fehler-Varianz) unterscheidet. Dazu wird der F-Wert als Quotient von Treatment- und Fehler-Varianz berechnet.

In diesem Zusammenhang werden stets die Gruppenmittelwerte (M) und die mittleren Abweichungen der Einzelwerte vom Mittelwert (SD – Standardabweichung/standard deviation) angegeben. Neben dem F-Wert stehen in Klammern Zähler- und Nenner-Freiheitsgrade sowie das Signifikanzniveau p. Der entsprechende Signifikanztest prüft, ob sich die Varianzen zwischen den Gruppen unterscheiden. Liegt der p-Wert unter dem kritischen Wert von 5 % (Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$ ), gilt der Test als signifikant.

Effektgrößen

Da Varianzanalysen aufgrund ihrer Stichprobenabhängigkeit nicht zur Schätzung der Größe und Bedeutsamkeit eines Effekts geeignet sind, ist es sinnvoll, zusätzlich Effektgrößen zu berechnen, welche standardisierte Abstandsmaße sind (d). In der psychologischen Forschung findet man typischerweise mittlere Effektgrößen um  $d = 0,5$ . Ab  $d = 0,3$  spricht man von einem kleinen, ab  $d = 0,8$  von einem großen Effekt.

**Aufgabe 1A – Entscheidung unter vorgegebenen Kriterien**

Übungsphase

Lernverläufe

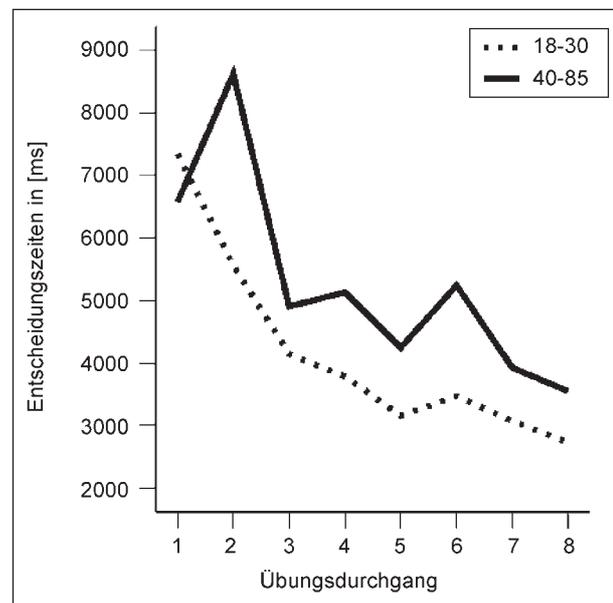
Die Übungsphase sollte den Probanden helfen, sich mit der experimentellen Aufgabe vertraut zu machen, um diese in den Testdurchgängen sicher durchlaufen zu können. Sowohl in Bezug auf die Entscheidungszeiten als auch auf die Fehlerraten

machen die Ergebnisse deutlich, dass diese Durchgänge unabdingbar für die spätere Testleistung waren.

Entscheidungszeiten

Die Entscheidungszeiten geben die Zeitspanne zwischen dem Erscheinen des dynamischen Wegweisers und dem Knopfdruck der Versuchsperson an. Sie unterliegen gerade in der Übungsphase starken Schwankungen und bewegen sich zwischen 0,69 s und 35,01 s. Gerade im zeitlichen Verlauf der ersten acht Übungsdurchgänge ist ein deutlicher Abfall der Entscheidungszeiten zu erkennen (siehe Bild 5.52). Die Probanden lernten, die Aufgabe korrekt durchzuführen. Die Varianz über die acht Stausituationen hinweg ist dabei vor allem auf die verschiedenen Situationstypen zurückzuführen.

Auch der direkte Vergleich zweier ähnlicher Übungsdurchgänge (siehe Tabelle 5.9) veran-



**Bild 5.52:** Verlauf der Entscheidungszeiten in den ersten acht Übungsdurchgängen

Altersgruppe	Durchgang 1 [s]	Durchgang 7 [s]	Steigerung [%]
18- bis 30-Jährige	M = 7,34 SD = 3,81	M = 3,07 SD = 1,34	um 59
40- bis 65-Jährige	M = 6,57 SD = 4,26	M = 3,92 SD = 2,61	um 42
Gesamt	M = 6,96	M = 3,49	
M = Mittelwert SD = Standardabweichung			

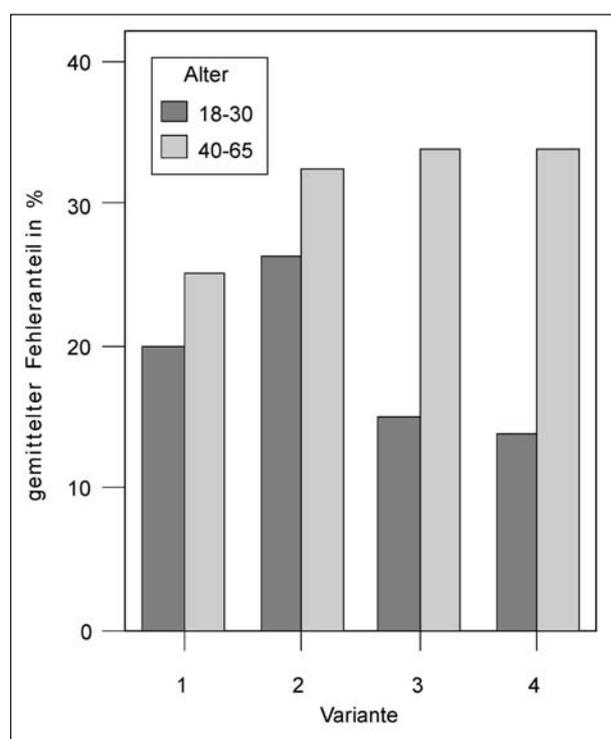
**Tab. 5.9:** Entscheidungszeiten im Altersvergleich

schaulicht einen Abfall der Entscheidungszeiten. Probanden der Altersgruppe 40 bis 65 wurden um 42 % schneller, Probanden der Altersgruppe 18 bis 30 sogar um 59 %.

#### Fehler

Um zu zeigen, dass die Aufgabe gut beherrscht wurde, musste jeder Versuchsteilnehmer mindestens einen Übungsblock, bestehend aus acht Stausituationen, erfolgreich durchlaufen. 59 % der Probanden überschritten die vorgegebenen Grenze von zwei Fehlern nicht und konnten so direkt mit der Testphase fortfahren. 28 % der Probanden mussten den Übungsblock einmal wiederholen. Ein dritter bzw. vierter Übungsblock war bei 13 % der Probanden nötig, um sicherzustellen, dass die Aufgabe ausreichend beherrscht wurde.

Während der acht Stausituationen im ersten Übungsblock unterschieden sich die beiden Altersgruppen signifikant hinsichtlich des Fehleranteils (siehe Bild 5.53). Die Probanden der Altersgruppe 18-30 hatten mit 18,75 % (SD = 18,27 %) einen geringeren Fehleranteil als die Probanden der Altersgruppe 40 bis 65 (M = 31,88 %, SD = 21,17 %),  $F(1, 72) = 2,66, p = .01$ .



**Bild 5.53:** Gemittelter Fehleranteil im ersten Übungsblock (acht Übungsdurchgänge)

#### Testphase

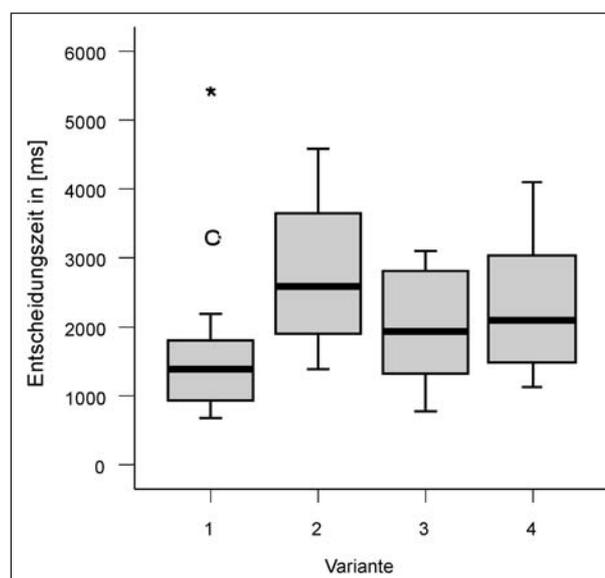
##### Entscheidungszeiten

In die Auswertung der Entscheidungszeiten fließen ausschließlich richtige Entscheidungen bei relevanten Stausituationen ein.

Über alle Varianten hinweg benötigte die Gruppe der 18- bis 30-Jährigen durchschnittlich 1,84 s (SD = 0,79 s) für eine Entscheidung, wohingegen die Gruppe der 40- bis 65-Jährigen bei mittleren 2,50 s lag (SD = 0,89 s). Die ANOVA zeigt, dass der Faktor „Alter“ einen signifikanten Einfluss auf die Entscheidungszeiten der Probanden hat ( $F(1, 72) = 11,33; p = .001$ ). Die berechnete Effektgröße von  $d = 0,77$  besagt, dass dieser Faktor einen großen Effekt hat.

Des Weiteren zeigt sich ein signifikanter Haupteffekt des Faktors „Variante der Reisezeitdarstellung“ ( $F(3, 72) = 5,15; p = .003$ ), wobei sich eine mittlere Effektgröße von 0,54 ergibt (siehe Bild 5.54). Darstellungsvariante 1 hatte aufgrund der geringsten Anzahl an zu verarbeitenden Informationen die kürzesten Entscheidungszeiten (M = 1,64 s, SD = 1,08 s), gefolgt von den Varianten 3 (M = 2,02 s, SD = 0,75 s) und 4 (M = 2,31 s, SD = 0,89 s). Variante 2 hatte die längsten Entscheidungszeiten (M = 2,69 s, SD = 0,96 s), da hier ein zusätzlicher Rechenschritt erforderlich war (Gewinn als Differenz der beiden Verlustzeiten).

Betrachtet man die Entscheidungszeiten der einzelnen Experimentalgruppen in Abhängigkeit von der



**Bild 5.54:** Entscheidungszeiten in Abhängigkeit der Verlustzeitdarstellung

Variante	18- bis 30-Jährige		40- bis 65-Jährige	
	Mittelwert [s]	Standard- abweichung [s]	Mittelwert [s]	Standard- abweichung [s]
1	1,36	0,77	1,92	1,30
2	2,50	0,90	2,89	1,04
3	1,49	0,56	2,55	0,51
4	1,99	0,93	2,63	0,77
Gesamt	1,84	0,79	2,50	0,89

Tab. 5.10: Entscheidungszeiten in Abhängigkeit von Alter und Variante

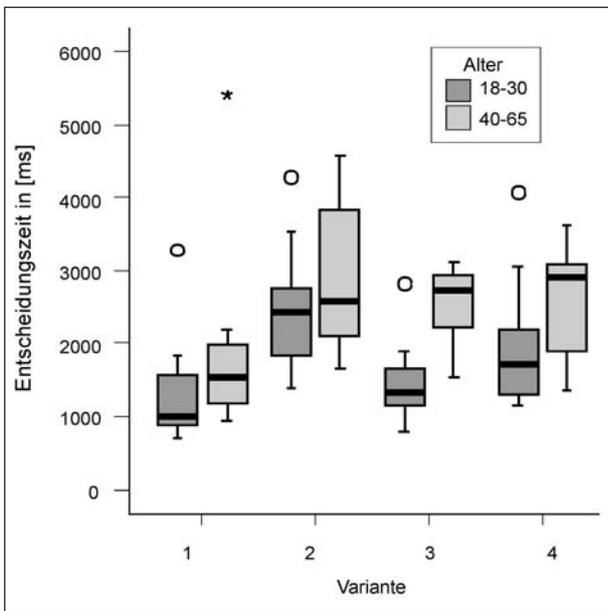


Bild 5.55: Entscheidungszeiten in Abhängigkeit von „Variante“ und „Alter“

Altersgruppe (siehe Tabelle 5.10), so ist das Muster der 18- bis 30-Jährigen ähnlich dem der Gesamtstichprobe: Darstellungsvariante 1 hatte die kürzesten Zeitwerte, gefolgt von Variante 3, Variante 4 und schließlich Variante 2. Bei der Gruppe der 40- bis 60-Jährigen hingegen unterscheiden sich die Varianten 2, 3 und 4 hinsichtlich der Entscheidungszeiten kaum. Lediglich bei Variante 1 kam es zu kürzeren Zeiten (siehe Bild 5.55).

Eine statistisch signifikante Interaktion der beiden Faktoren Alter und Variante zeigt sich allerdings nicht ( $F(3, 72) = 0,56, p = .65$ ).

Analyse der Blickbewegungen

Im Folgenden werden die Blickbewegungen bei der Bewältigung der Entscheidungsaufgabe unter vorgegebenen Kriterien (Teil 1A, Testphase) detaillierter betrachtet.

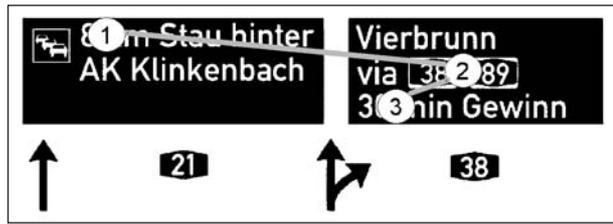


Bild 5.56: Blickverlauf eines Probanden der Altersgruppe 18- bis 30-Jährige

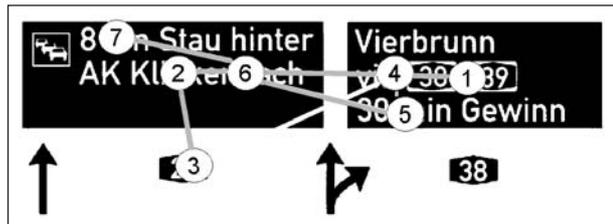


Bild 5.57: Blickverlauf eines Probanden der Altersgruppe 40- bis 65-Jährige

Die Darbietung der Bildsequenzen wurde während des Experiments per Video aufgezeichnet, wobei zusätzlich der sich bewegende Blickpunkt der Probanden erkennbar war. Zur detaillierten Videoanalyse wurde mit dem Programm „Ergoplayer“ gearbeitet, welches eine zeitliche Kodierung von Ereignissen ermöglichte. Diese Ereignisse sind so genannte „Fixationen“, die Fokussierung des Blickes für mindestens 100 ms (2,5 Frames des Videos) auf einen bestimmten Punkt im Raum.

Bereits bei ersten Betrachtungen der Videodaten ließen sich Unterschiede in den Blickbewegungen der Versuchsteilnehmer beobachten. Bild 5.56 zeigt beispielhaft den Blickverlauf eines Probanden der Altersgruppe 18- bis 30-Jährige (Stausituation Nr. 20, Variante 3). Dabei zeigen die weißen Punkte den jeweiligen Ort einer Fixation an, die darauf befindlichen Zahlen die Reihenfolge der verschiedenen Fixationen. Bei einem Probanden der Altersgruppe der 40- bis 65-Jährigen ist in der gleichen Situation ein anderes Muster erkennbar (siehe Bild 5.57).

Um die bereits beobachteten Unterschiede quantitativ darzustellen, wurden 30 Probanden (fünf je Variante und Altersgruppe) hinsichtlich der Anzahl und Lage aller Fixationen bei Stausituation Nr. 3 (siehe z. B. Bild 5.58) untersucht. Tabelle 5.11 zeigt die mittlere Anzahl der Fixationen im Gruppenvergleich.

Neben der Anzahl der Fixationen wurde auch deren Lage ausgewertet. In den Bildern 5.58 bis 5.60 charakterisieren Ziffern von eins bis neun die verschiedenen Schildelemente der Darstellungsvarianten 2,

Variante	Durchschnittliche Anzahl der Fixationen	
	18- bis 30-Jährige (N = 15)	40- bis 65-Jährige (N = 15)
2	4,6	5,8
3	3,4	5,6
4	2,8	4,8

Tab. 5.11: Mittlere Fixationen bei den Varianten 2, 3 und 4 in der Stausituation Nr. 3 (Aufgabe 1A, Testphase)

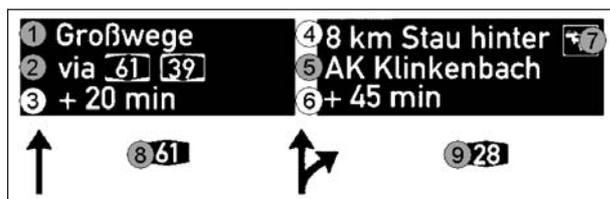


Bild 5.58: Variante 2 (Stausituation Nr. 3) – Kodierung der Schildelemente



Bild 5.59: Variante 3 (Stausituation Nr. 3) – Kodierung der Schildelemente

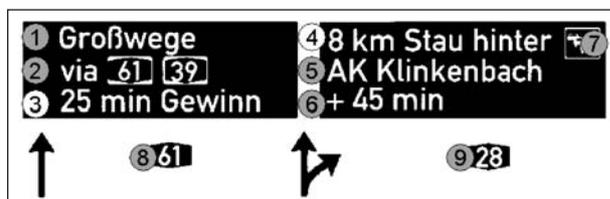


Bild 5.60: Variante 4 (Stausituation Nr. 3) – Kodierung der Schildelemente

3 und 4. Weiße Punkte kennzeichnen dabei die für die Entscheidung im Experiment unbedingt notwendigen Informationen, graue Punkte hingegen alle zusätzlichen Informationen. So wurden bei Schildvariante 2 die Stauinformation (4) sowie die Staudauer (6) und die zusätzliche Dauer durch die Nutzung der Umfahrung im Vergleich zur Standardroute ohne Stau (3) für eine Entscheidung benötigt. Sowohl bei Variante 3 als auch bei Variante 4 war lediglich die Information zum Stau (4) und zum Reisezeitgewinn durch die Umfahrung (3) notwendig, um eine korrekte Entscheidung zu treffen.

Nach der Kodierung und Auszählung der Fixationen der einzelnen Elemente zeigte sich, dass der Anteil der zusätzlichen Fixationen bei Probanden der Altersgruppe 40- bis 65-Jährige deutlich höher ist, als

	18- bis 30-Jährige (n = 15)	40- bis 65-Jährige (n = 15)
Variante 2		
Notwendige Informationen	65,2 %	65,5 %
Zusätzliche Informationen	34,8 % davon auf Position: ② 50 % ⑤ 25 % ① 25 %	34,5 % davon auf Position: ② 30 % ⑤ 30 % ① 30 % ⑧ 10 %
Variante 3		
Notwendige Informationen	64,7 %	42,9 %
Zusätzliche Informationen	35,3 % davon auf Position: ⑥ 66,7 % ① 33,3 %	57,1 % davon auf Position: ⑥ 37,5 ① 31,3 ② 12,5 ⑦ 6,3 ⑧ 6,3
Variante 4		
Notwendige Informationen	64,3 %	50 %
Zusätzliche Informationen	35,7 % davon auf Position: ① 40 % ⑥ 40 % ⑤ 20 %	50 % davon auf Position: ⑥ 33,3 % ② 33,3 % ① 25 % ⑧ 8,4 %
Gesamtanteil zusätzlicher Informationen	35,3 %	47,2 %

Tab. 5.12: Verteilung der Fixationen von je fünf Probanden bei Stausituation Nr. 3 (Aufgabe 1A, Testphase) auf relevante und irrelevante Schildelemente

bei der Altersgruppe 18- bis 30-Jährige (siehe Tabelle 5.12). Neben dem Anteil der zusätzlich betrachteten Schildelemente wird in der Tabelle auch prozentual aufgeschlüsselt, um welche Schildelemente es sich dabei handelte.

Die Analyse der Fixationen bot ferner die Möglichkeit, Lernverläufe hinsichtlich der Blickbewegungen aufzudecken. Zu diesem Zweck wurde die Anzahl der Fixationen von 14 Probanden (je sieben der beiden Altersgruppen) verglichen. Betrachtet wurde ausschließlich die Probandengruppe mit der Schildvariante 3. Um einen Lernverlauf zu erkennen, wurden drei relevante Stausituationen zu verschiedenen Zeitpunkten der Testphase von Aufgabe 1A verglichen (Tabelle 5.13).

Zeitpunkt während der Testphase	Durchschnittliche Anzahl der Fixationen	
	18- bis 30-Jährige (n = 21)	40- bis 65-Jährige (n = 21)
früh (Sit.3)	3,57	5,14
mittel (Sit. 12)	3,43	4,71
spät (Sit.19)	3,00	4,00
Gesamt (3, 12, 19)	3,23	4,62

**Tab. 5.13:** Mittlere Anzahl der Fixationen bei Variante 3 zu einem frühen (Situation 3), mittleren (Situation 12) und spätem (Situation 19) Zeitpunkt der Testphase

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Probanden selbst in der Testphase maßgeblich verbesserten und im Verlauf lernen, sich bevorzugt auf die relevanten Schildelemente zu konzentrieren.

**Fehler**

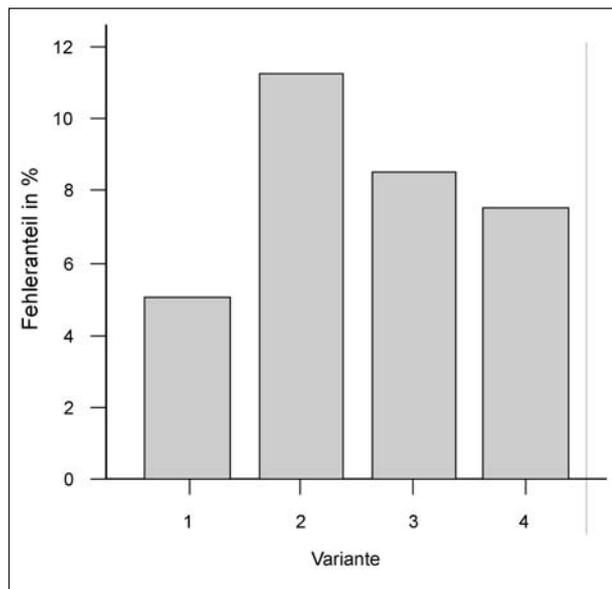
Ein mittlerer Fehleranteil von etwa 8,1 % macht deutlich, dass die Entscheidungsaufgabe von den Probanden weitestgehend beherrscht wurde. Bei Darstellungsvariante 1 zeigte sich dabei ein niedrigeres Fehlerniveau von 5,1 %, was darauf zurückzuführen ist, dass lediglich ein Entscheidungskriterium zu berücksichtigen war. Variante 2 führte über die 24 Stausituationen hinweg zu einer Fehlerquote von durchschnittlich 11,2 % (siehe Bild 5.61).

Betrachtet man bezüglich des mittleren Fehleranteils nun die Altersgruppen getrennt voneinander (siehe Bild 5.62), so zeigt sich bei Darstellungsvariante 3 der größte Unterschied.

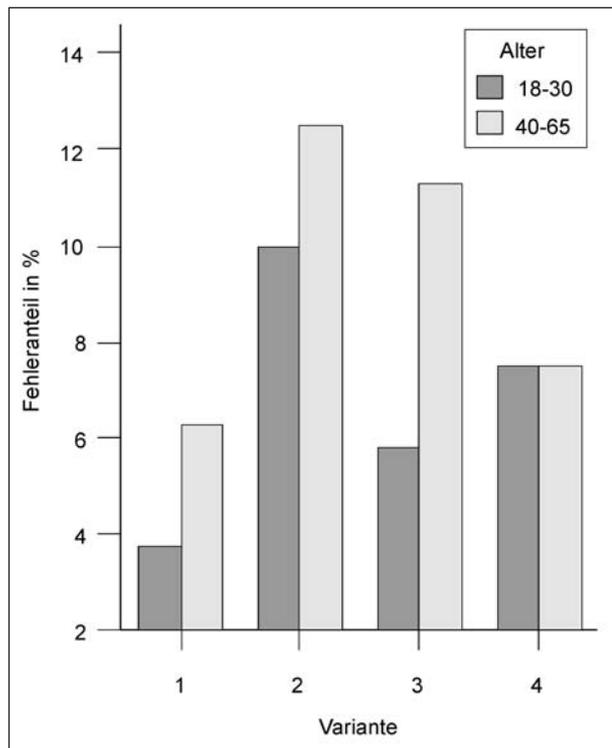
**Fehler in Abhängigkeit des Situationstyps**

Je nachdem, wo sich das Ziel befindet, wo sich der Stau befindet und ob die Entscheidungskriterien erfüllt sind, ergibt sich einer von sechs Situationstypen (vgl. Tabelle 5.8). In Tabelle 5.14 werden Fehleranteile der einzelnen Situationstypen über die 24 Stausituationen hinweg dargestellt.

Bei der Betrachtung der mittleren Fehleranteile scheinen bei den relevanten Stausituationen (7,23 %) weniger Fehler gemacht worden zu sein als bei irrelevanten Stausituationen (9,7 %). Im Hinblick auf relevante Staus wurden bei Situationen mit nicht erfülltem Entscheidungskriterium (Typ 2 und Typ 4) weniger Fehler gemacht als mit erfülltem Entscheidungskriterium (Typ 1 und Typ 3). Des Weiteren scheinen die Probanden größere Probleme mit Situationen gehabt zu haben, bei denen sich der



**Bild 5.61:** Durchschnittlicher Fehleranteil der Verlustzeitdarstellungen über 24 Stausituationen



**Bild 5.62:** Durchschnittlicher Fehleranteil der einzelnen Verlustzeitdarstellungen

Stau auf dem abzweigenden Autobahnabschnitt befand (9,7 %), als mit Situationen, bei denen der Stau auf der weiterführenden Strecke lag (6,5 %).

Bild 5.63 zeigt die mittleren Fehleranteile der beiden Altersgruppen bei den einzelnen Situationstypen. Dieser Fehler setzt sich dabei aus den jeweils viermal vorkommenden Situationen jedes Typs zu-

Situationstyp		Fehleranteil in %
Relevanter Stau (Relevanzkriterium erfüllt)		
1	Stau weiterführend, Ziel weiterführend, Entscheidungskriterium erfüllt	9,1
2	Stau weiterführend, Ziel weiterführend, Entscheidungskriterium nicht erfüllt	3,4
3	Stau abzweigend, Ziel abzweigend, Entscheidungskriterium erfüllt	10,0
4	Stau abzweigend, Ziel abzweigend, Entscheidungskriterium nicht erfüllt	6,6
Irrelevanter Stau (Relevanzkriterium nicht erfüllt)		
5	Stau abzweigend, Ziel weiterführend	12,5
6	Stau weiterführend, Ziel abzweigend	6,9

Tab. 5.14: Mittlere Fehleranteile in Abhängigkeit des Situationstyps

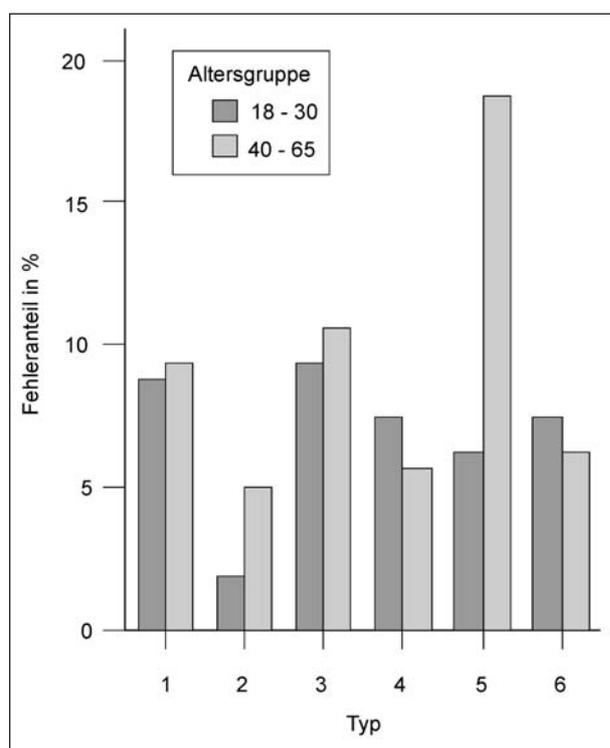


Bild 5.63: Durchschnittlicher Fehleranteil der einzelnen Situationstypen aus Tabelle 5.17

sammen. Hinsichtlich des Alters ist keine eindeutige Tendenz zu erkennen. Lediglich bei Situationstyp 5 tritt ein deutlicher Unterschied auf.

Des Weiteren wurden die mittleren Fehleranteile der sechs Situationstypen auch in Abhängigkeit der Experimentalgruppe, also in welcher Darstellungsvariante die Probanden die Informationen erhielten, vergleichend betrachtet (siehe Bild 5.64). Es zeigt sich, dass bei Variante 3 insbesondere bei den irre-

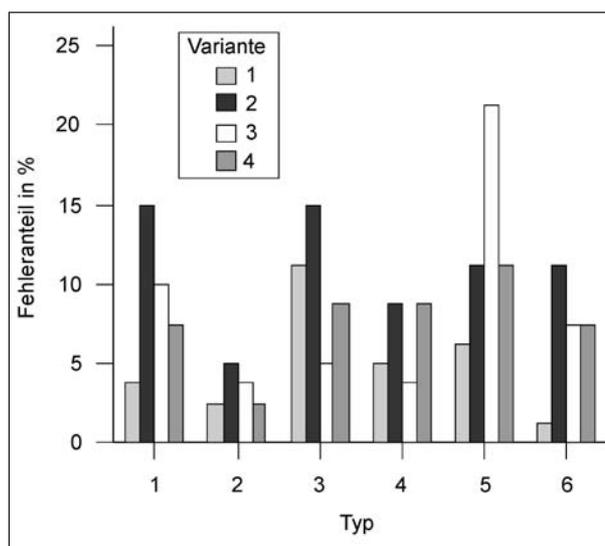


Bild 5.64: Durchschnittlicher Fehleranteil der einzelnen Situationstypen aus Tabelle 5.17

levanten Stausituationen mehr Fehler auftraten, wogegen diese Unterschiede bei den anderen Schildvarianten nicht erkennbar sind.

### Aufgabe 1B – Entscheidung unter vorgegebenen Kriterien – Vergleich der Gruppen 2 und 4

#### Testphase

Die experimentelle Aufgabe glich der in Teil 1A. Lediglich die Entscheidungskriterien wurden hier zu „Staudauer mind. 25 min“ und „Gewinn mind. 15 min“ geändert.

#### Entscheidungszeiten

Im direkten Vergleich der Entscheidungszeiten bei Variante 2 ( $M = 2,78$  s;  $SD = 0,79$  s) und Variante 4 ( $M = 2,50$  s;  $SD = 0,92$  s) zeigen sich keine signifikanten Unterschiede ( $F(1, 36) = 1,25$ ;  $p = .272$ ).

Lediglich das Alter hat als Faktor einen signifikanten Einfluss auf die Dauer der Entscheidung ( $F(1, 36) = 7,49$ ;  $p = .01$ ). Probanden der Altersgruppe 18- bis 30-Jährige benötigten im Mittel 2,30 s ( $SD = 0,76$  s), Probanden der Altersgruppe 40-65 hatten eine mittlere Entscheidungszeit von 2,98 s ( $SD = 0,83$  s).

Eine statistisch signifikante Interaktion der beiden Faktoren „Alter“ und „Variante“ ist nicht vorhanden ( $F(1, 36) = 1,59$ ;  $p = .216$ ).

Bild 5.65 veranschaulicht die Verteilung der Entscheidungszeiten mit Hilfe von Boxplots.

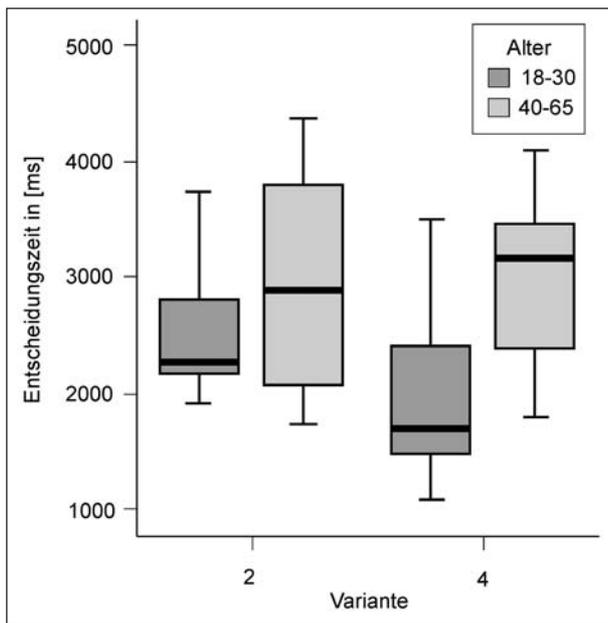


Bild 5.65: Entscheidungszeiten der Darstellungen 2 und 4, Altersabhängig

**Aufgabe 2 – Vollständige Informationsaufnahme**

**Betrachtungszeiten**

Die erste Analyse der Betrachtungszeiten zeigt eine hohe Streuung der mittleren Betrachtungszeiten zwischen 1,48 s und 15,23 s. Tabelle 5.15 zeigt die Gruppenmittelwerte und Standardabweichungen der vier Varianten.

Variante	18- bis 30-Jährige		40- bis 65-Jährige	
	Mittelwert [s]	Standardabweichung [s]	Mittelwert [s]	Standardabweichung [s]
1	5,05	2,06	4,99	1,87
2	6,92	3,03	6,57	2,83
3	5,96	2,34	5,57	2,24
4	6,88	2,98	6,50	2,71

Tab. 5.15: Betrachtungszeiten zur vollständigen Informationsaufnahme

Der Faktor „Variante“ hat einen signifikanten Einfluss auf die Betrachtungszeiten ( $F(3, 76) = 40,7; p < .001$ ). Paarvergleiche ergeben, dass Variante 1 ( $M = 5,02$  s;  $SD = 1,96$  s) signifikant kürzere Betrachtungszeiten hervorruft als Variante 3 ( $M = 5,77$  s;  $SD = 2,29$  s). Variante 2 ( $M = 6,74$  s;  $SD = 2,92$  s) und Variante 4 ( $M = 6,69$  s;  $SD = 2,83$  s) unterscheiden sich nicht signifikant voneinander. Folgende Beziehung gilt:  $1 \neq 3 \neq (2=4)$  (siehe Bild 5.66).

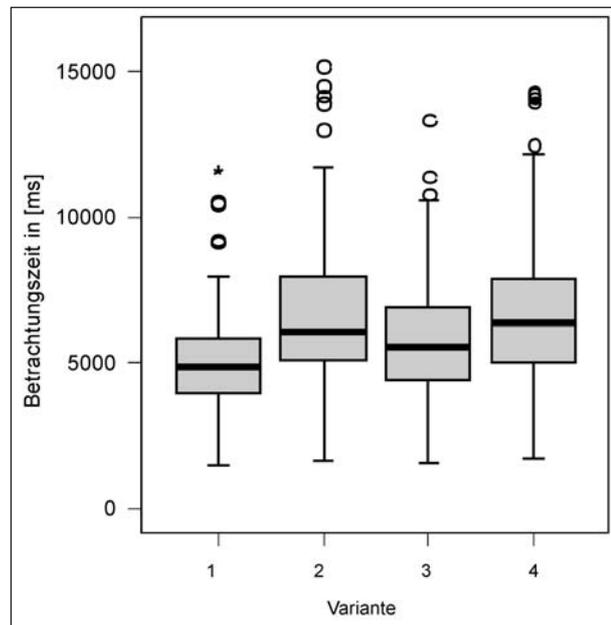


Bild 5.66: Verteilungen der mittleren Betrachtungszeiten der Darstellungsvarianten

Ein signifikanter Altersunterschied ist im Gegensatz zur ersten Teilaufgabe nicht feststellbar ( $F(1, 78) = 0,59; p > .05$ ). Die älteren Probanden waren bei dieser Aufgabe sogar minimal schneller.

Fehler. Es zeigt sich demnach kein Anstieg der Fehlerhäufigkeit bei kürzeren Betrachtungszeiten.

**Fehler bei Abfragen einzelner Schildelemente**

**Korrigierte Lesezeiten mit Hilfe der Analyse der Blickbewegungen**

Im Mittel machten die Probanden in 22,8 % der Abfragen von Teilaufgabe 2 Fehler. Es gibt jedoch keinen Zusammenhang zwischen der Betrachtungszeit und der Fehleranzahl in den Kontrollfragen. Sowohl Probanden mit kürzeren als auch solche mit längeren Betrachtungszeiten machten ähnlich viele

Um die Betrachtungszeiten sinnvoll interpretieren zu können, war eine Korrektur notwendig, wobei die Anteile des Zurückspringens und doppelten Lesens aus der gesamten Betrachtungszeit entfernt werden sollten.

Anhand der auf Video aufgezeichneten Blickverläufe konnte man nachvollziehen, wie lange und wie oft die Probanden einzelne Elemente des Wegweisers betrachteten. Hierbei sind sehr unterschiedliche Muster des Lesens erkennbar.

Mit Hilfe der Videoaufzeichnungen wurden die Probanden zunächst einer von drei Gruppen des „Lesetyps“ zugeordnet (Tabelle 5.16).

Lesetyp	Beschreibung	Anzahl der Probanden
1	Zügiges, lineares Lesen	n = 12
2	Zügiges, lineares Lesen, dann Zurückspringen	n = 20
3	Nicht-lineares Lesen	n = 27
	Videomaterial nicht verwertbar	n = 21

Tab. 5.16: Einteilung der Lesetypen

Variante	Mittlere Betrachtungszeiten [s]	
	vor Korrektur	nach Korrektur
1	M = 5,02 SD = 1,96	M = 3,04 SD = 0,87
2	M = 6,74 SD = 2,92	M = 4,15 SD = 1,25
3	M = 5,77 SD = 2,29	M = 3,65 SD = 1,03
4	M = 6,69 SD = 2,83	M = 4,23 SD = 1,31

Tab. 5.17: Mittlere Betrachtungszeiten der einzelnen Varianten vor und nach der Korrektur

Aufgrund von Kalibrierungsproblemen konnten die Blickbewegungen nicht bei allen Versuchsteilnehmern aufgezeichnet werden bzw. waren von schlechter Qualität. Bei fehlendem oder mangelhaftem Videomaterial war keine nachträgliche Korrektur der Betrachtungszeiten möglich. Auch die Gruppe „Lesetyp 3“ entzog sich einer Korrekturmöglichkeit, da bei nicht-linearem Lesen kein eindeutiger Anfang und kein eindeutiges Ende eines einmaligen linearen Lesevorgangs erkennbar ist.

In einer detaillierten Analyse der Videoaufzeichnungen wurden von Beobachtern die Betrachtungszeiten der Probanden des „Lesetyp 2“ korrigiert. Diese neuen Betrachtungszeiten des „Lesetyps 2“ sowie die ohnehin gültigen Betrachtungszeiten des „Lesetyps 1“ wurden nun als neue Grundlage der Auswertung verwendet.

Die Betrachtungszeiten sind nun deutlich niedriger als zuvor (Tabelle 5.17). Dennoch lässt sich auch weiterhin eine starke interindividuelle Varianz erkennen.

Hinsichtlich der verschiedenen Darstellungsvarianten zeigt sich nach der Korrektur ein ähnliches Muster (siehe Bild 5.67) wie vorher. Während weder der Faktor „Alter“ noch eine Interaktion von „Alter“ und „Variante“ signifikante Unterschiede bewirken, hat der Faktor „Variante“ wiederum einen signifikanten Haupteffekt ( $F(3, 28) = 19,90; p < .001$ ).

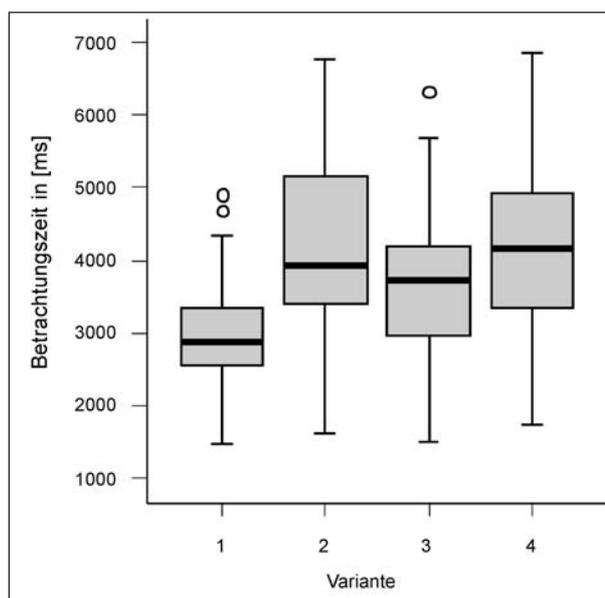


Bild 5.67: Verteilungen der korrigierten Betrachtungszeiten der Verlustzeitdarstellungen

### Subjektive Bewertung

Zusätzlich zu den gemessenen Daten aus Teil 1 und 2 wurde auch die persönliche Meinung der Probanden erfasst. Dazu wurden die vier Varianten hinsichtlich verschiedener Kriterien in einem Fragebogen subjektiv bewertet.

### Vergleichende Bewertung

Die vergleichende Bewertung der 4 untersuchten Darstellungsvarianten wurde durch die Zustimmung bzw. Ablehnung verschiedener Aussagen (Tabelle 5.18) erfasst.

Bild 5.68 veranschaulicht das Ausmaß der mittleren Zustimmung zu den fünf Aussagen.

Die Aussage zur schnellen Lesbarkeit fand gemäß den Probanden bei Variante 1 die größte Zustimmung ( $M = 3,75; SD = 0,61$ ), gefolgt von Variante 3 ( $M = 3,06; SD = 0,86$ ), Variante 2 ( $M = 2,70; SD = 0,92$ ) und Variante 4 ( $M = 2,40; SD = 1,04$ ).

Auch bezüglich der guten Verständlichkeit erhielt Variante 1 die stärkste Zustimmung ( $M = 3,67; SD = 0,69$ ). Variante 3 liegt mit 3,20 ( $SD = 0,75$ ) dicht dahinter. Variante 2 ( $M = 2,71; SD = 0,96$ ) erfuhr, ebenso wie Variante 4 ( $M = 2,73; SD = 0,94$ ), nur geringe Zustimmung, mit einer Tendenz zur Ablehnung.

Die in der dritten Aussage angesprochene eindeutige Interpretierbarkeit zeigt ähnliche Muster wie die beiden ersten Aussagen. Variante 1 liegt mit 3,46

(SD = 0,93) vor Variante 3 (M = 3,18; SD = 0,95), gefolgt von Variante 2 (M = 2,58; SD = 1,02) und Variante 4 (M = 2,49; SD = 0,98).

Als sehr hilfreich wurde vor allem Variante 3 beurteilt (M = 3,39; SD = 0,74). Mit ähnlicher Zustimmung zu dieser Aussage schneiden auch Variante 4 (M = 3,20; SD = 0,89), Variante 2 (M = 3,19; SD = 0,86) und Variante 1 (M = 3,04; SD = 0,88) ab.

Im Gegensatz zu den ersten drei Aussagen, erfuhr Variante 1 bei der Frage, ob das Schild alle benötigten Informationen enthalte, die geringste Zustimmung der Probanden (M = 2,46; SD = 1,08). Insbesondere bei Variante 4 (M = 3,44, SD = 0,79), aber auch bei Variante 2 (M = 3,26; SD = 0,88) und Va-

riante 3 (M = 3,25; SD = 0,86) wurde diese Aussage mit mittlerer Zustimmung bewertet.

Ranking

Hinsichtlich der Kategorien „Lesbarkeit“, „Verständlichkeit“ und „Nutzen“ mussten die vier Darstellungsvarianten von den Probanden in eine Rangreihe gebracht werden. Zur besseren grafischen Darstellung wurden die Rangplätze bei der Berechnung umgekehrt. Demnach entspricht 4 der besten und 1 der schlechtesten Bewertung.

Lesbarkeit

Bezüglich der Lesbarkeit wurde Variante 1, die Darstellungsvariante ohne Reisezeitinformationen, am besten bewertet (M = 3,57; SD = 0,98). Variante 3 (M = 2,71; SD = 0,77) belegt den zweiten Platz, gefolgt von Variante 2 (M = 1,95; SD = 0,80) und Variante 4 (M = 1,77; SD = 0,91). Ein scheinbar negativer Zusammenhang zwischen Informationsgehalt und Lesbarkeit ist erkennbar. Bild 5.69 veranschaulicht die Rangpunkte im Vergleich der beiden Altersgruppen.

Verständlichkeit

Auch hinsichtlich der Verständlichkeit wurde Variante 1 am besten bewertet (M = 3,32; SD = 1,1), gefolgt von Variante 3 (M = 2,76; SD = 0,80), Variante 2 (M = 1,97; SD = 0,89) und Variante 4 (M = 1,95; SD = 1,04). In Bild 5.70 ist daher ein Muster ähnlich der Lesbarkeit zu erkennen.

Nr.	Aussage
1	Dieses Schild ist in der kurzen Zeit sehr gut lesbar.
2	Der Inhalt dieses Schildes ist sofort gut verständlich.
3	Dieses Schild kann nicht falsch interpretiert werden. (= eindeutig)
4	In einer Stausituation sind die Informationen auf diesem Schild sehr hilfreich.
5	Dieses Schild enthält alle Informationen, die ich für meine Entscheidung benötige.
	Antwort
Je	1 – starke Ablehnung 2 – leichte Ablehnung 3 – leichte Zustimmung 4 – starke Zustimmung

Tab. 5.18: Aussagen und Skala zur vergleichenden Bewertung (Fragebogen)

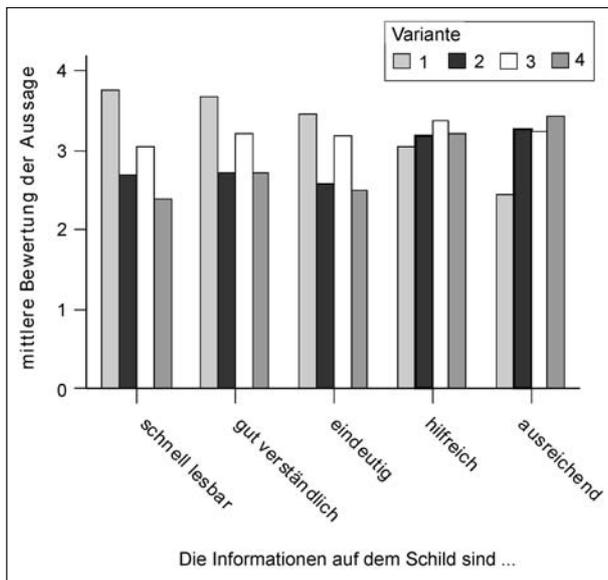


Bild 5.68: Mittlere Punktwerte der Aussagen zur vergleichenden Bewertung

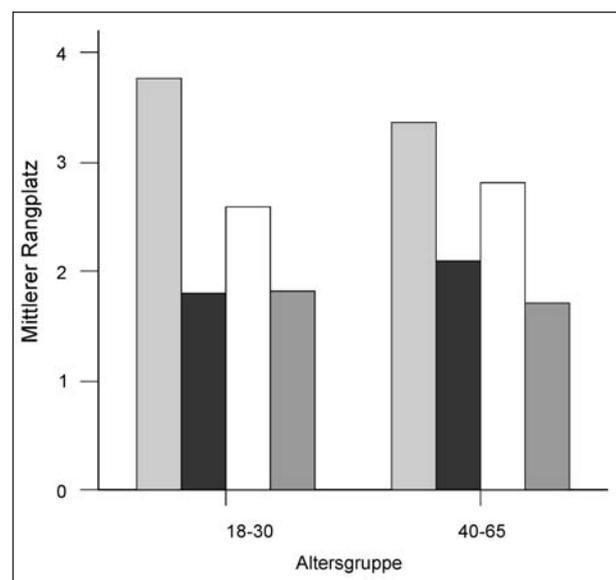


Bild 5.69: Kategorie „Lesbarkeit“ – vier Varianten in Abhängigkeit der Altersgruppe

Nutzen

Im Hinblick auf den Nutzen der Informationen für den Fahrer dominieren jedoch die Varianten 3 (M = 2,97; SD = 0,93) und 4 (M = 2,95; SD = 1,14). Auch Variante 2 (M = 2,44; SD = 0,93) wurde hier im Gegensatz zu Variante 1 (M = 1,63; SD = 0,91) als nützlicher betrachtet. Bild 5.71 zeigt, dass bei der Probandengruppe der 18- bis 30-Jährigen eher die Variante 3 als am nützlichsten bezeichnet wurde, während bei der Gruppe der 40- bis 65-Jährigen eher der Variante 4 der größte Nutzen zugeschrieben wurde.

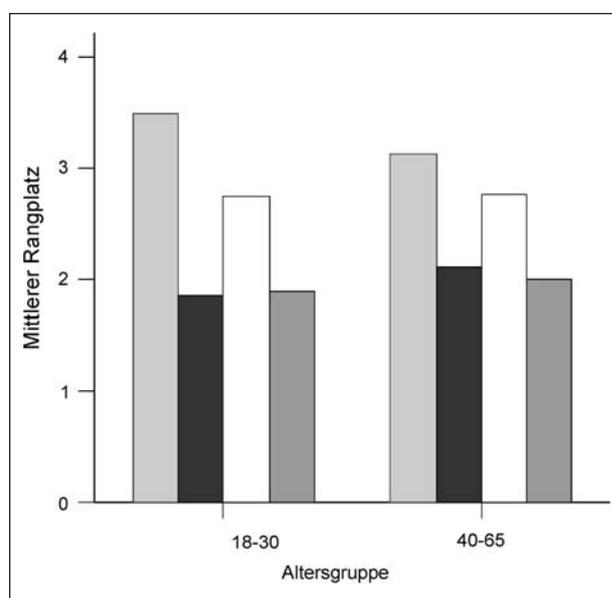


Bild 5.70: Kategorie „Verständlichkeit“ – vier Varianten in Abhängigkeit der Altersgruppe

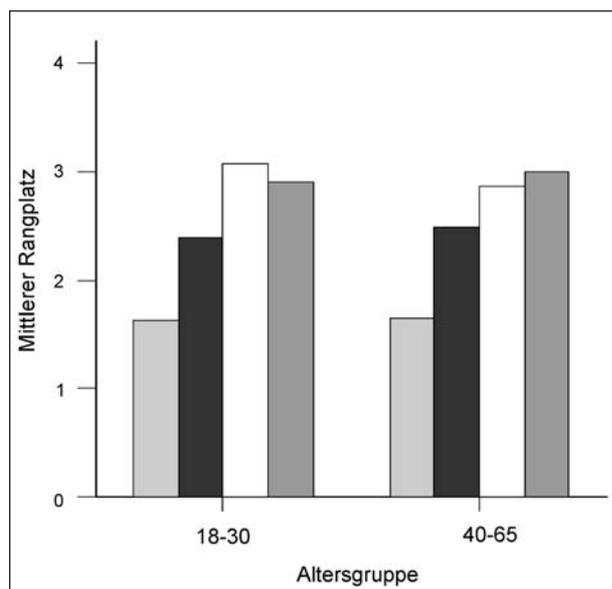


Bild 5.71: Kategorie „Nutzen“ – vier Varianten in Abhängigkeit der Altersgruppe

Favorisierte Variante

34 der 80 Probanden wählten Variante 3 zu ihrem persönlichen Favoriten, 22 Personen bevorzugten Variante 4. Für 14 Versuchsteilnehmer stellte Variante 2 die beste Lösung dar und zehn Probanden präferierten Variante 1 ohne Reisezeitinformationen (siehe Bild 5.72).

Insbesondere im Hinblick auf Variante 3 und 4 als favorisierte Darstellungsform sind Unterschiede in

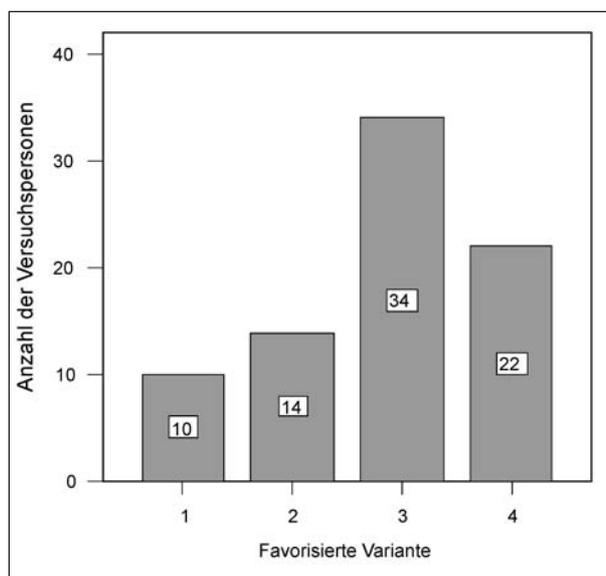


Bild 5.72: Favorisierte Varianten der Reisezeitdarstellung

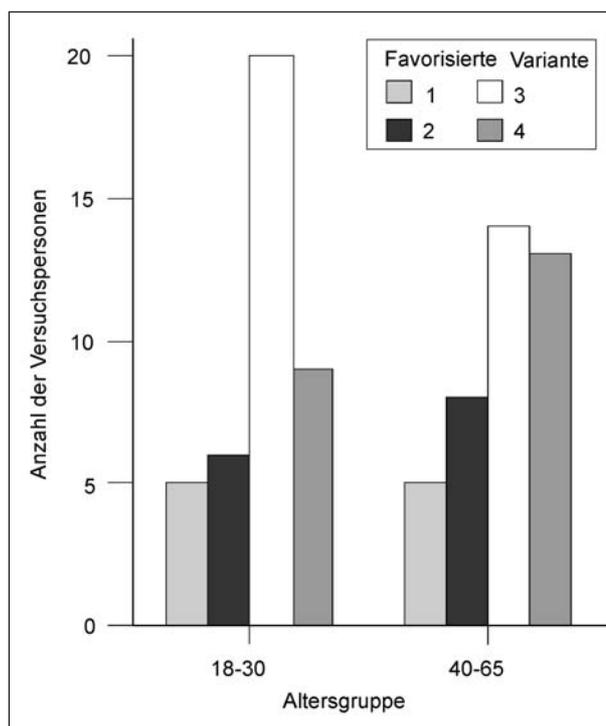


Bild 5.73: Favorisierte Varianten der Reisezeitdarstellung in Abhängigkeit des Alters

den beiden Altersgruppen erkennbar (siehe Bild 5.73).

Begründungen für die Wahl zum Favoriten

Zusätzlich zur Wahl des Favoriten sollte die Wahl von den Probanden begründet werden. Nachfolgend sind Auszüge der Begründungen aufgeführt, wobei ähnliche Argumente sinnvoll zusammengefasst und neu formuliert wurden.

Variante 1:

- „einfach, schnell zu überblicken“,
- „genug Informationen für Entscheidung“,
- „kein Vertrauen in Zeitangaben“,
- „es muss keine Entscheidung getroffen werden, ob Umfahrung zeitlich sinnvoll ist“,
- „auch für Ziele vor Fernziel besser“.

Variante 2:

- „Alle wichtigen Details enthalten, am informativsten“,
- „bessere Kalkulation zum Routenvergleich möglich – dann eigene Entscheidung“,
- „sinnvoll und übersichtlich dargestellte Informationen (Art der Zeitangabe auf beiden Seiten gleich – immer Angabe der zusätzlichen Zeit)“,
- „Wissen um zusätzliche Zeit wichtig, falls Termin am Zielort“,
- „Lesbarkeit und Informationsgehalt am besten kombiniert“.

Variante 3:

- „gut, übersichtlich, schnell lesbar, keine lange Ablenkung“,
- „eindeutige Zeitangabe, keine Verwechslungen/Verwirrungen möglich“,
- „für Entscheidung ausreichende wichtige Information (Gewinn) enthalten“,
- „mittlere Anzahl an Informationen (nicht zu viel, nicht zu wenig)“,
- „Rechenschritt (Vergleich zweier Zeiten) wird abgenommen – Gewinn sofort ablesbar“,

- „schnelle Gewöhnung“,
- „eigene Bewertung, ob es sich lohnt oder nicht schnell möglich“.

Variante 4:

- „übersichtlich, gut lesbar“,
- „Staudauer wichtig für Entscheidung (z. B. bei kurz dauerndem Stau kein Risiko eingehen, sich auf der Umfahrung zu verfahren) bzw. bei Termindruck“,
- „nützlich – enthält die meisten Informationen“,
- „eindeutig verständlich (Gewinn)“,
- „Rechenschritt wird abgenommen“,
- „gutes Abwägen/Entscheiden möglich“,
- „allmähliche Gewöhnung an die Datenmenge“.

### 5.3.4 Abschließende Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung

#### Zusammenfassung der Befunde aus den Teilaufgaben

Entscheidungszeiten – Teil 1

Betrachtet man die vier Darstellungsvarianten im Vergleich, so hatte Variante 1, mit lediglich einem Entscheidungskriterium, die kürzesten Entscheidungszeiten. Unter den Schildvarianten mit Reisezeitinformationen, und daher mit zwei Entscheidungskriterien, schnitt Variante 3 am besten ab. Variante 4 lag dicht dahinter und bei Variante 2 kam es aufgrund des zusätzlichen Rechenschrittes zu einer langsameren Entscheidung. Eine Erklärungsmöglichkeit dafür, dass sich dieses Muster vorrangig in der Altersgruppe der 18- bis 30-Jährigen zeigt, sind die unterschiedlichen Blickverläufe und Strategien. Detaillierte Blickanalysen ergaben demnach, dass Probanden der Altersgruppe 40- bis 65-Jährige einen wesentlich höheren Anteil an Blickzuwendungen zu nicht entscheidungsrelevanten Informationen für die Experimentalaufgabe hatten.

Gerade im Hinblick auf die Entscheidungszeiten gab es signifikante Unterschiede zwischen den beiden Altersgruppen. 18- bis 30-jährige Probanden benötigten im Experiment weniger Zeit, um richtige Entscheidungen zu treffen.

Bedeutsam ist außerdem die Frage, ob und wie schnell die Nutzer mit den dargestellten Informatio-

nen vertraut wurden. Bereits während der Übungsphase traten deutliche Lernfortschritte bezüglich der Entscheidungszeiten auf. Bereits nach sieben Kontakten mit den Wegweisern verringerten sich die Entscheidungszeiten um nahezu 50 %. Dies impliziert, dass sich der Umgang mit dWiSta im Allgemeinen sowie mit den integrierten Reisezeitinformationen durch zunehmende Gewöhnung vereinfacht.

### Betrachtungszeiten – Teil 2

Signifikante Unterschiede zwischen den Varianten sind vor allem auf die verschiedene Anzahl an dargestellten Informationen zurückzuführen. Entsprechend den Erwartungen ergaben sich bei der Variante mit den wenigsten Informationen (Variante 1) daher auch die kürzesten Betrachtungszeiten. Variante 3 enthält deutlich mehr Informationen und wurde somit länger gelesen. Nur leicht darüber liegen die Varianten 2 und 4, welche die meisten Informationen beinhalten.

Die im Experiment erfassten Zeiten zum Lesen der Schildvarianten weisen eine enorm hohe interindividuelle Streuung auf, wobei keine signifikanten Altersunterschiede auftraten. Die Versuchspersonen schienen die Aufgabe sehr unterschiedlich interpretiert zu haben. Trotz des Hinweises, die Angaben der Schilder nicht zu memorieren, versuchten viele Personen, sich die einzelnen Schildelemente einzuprägen. Eine weitere Begründung für die sehr langen Betrachtungszeiten könnten die unbekannt Ortsnamen sein, welche das Behalten im Kurzzeitgedächtnis erschwerten und so ein wiederholtes Betrachten erforderten.

Die im Nachhinein korrigierten Betrachtungszeiten überschreiten dennoch, über alle Darstellungsvarianten hinweg, nicht den Maximalwert von zehn Sekunden. Diese maximale Darbietungszeit ergibt sich aus der Lesbarkeit des Schildes für 140 m (170 m bis 30 m vor dem Schild) und einer Geschwindigkeit von 100 km/h, wobei es im Normalfall zweifach präsentiert wird. Die Betrachtungszeit während des Fahrens wird dabei nur von kurzen Kontrollblicken zur Straße unterbrochen.

### Subjektive Bewertung – Teil 3

Die Ergebnisse der vergleichenden Bewertung und des Rankings verdeutlichen, dass bei einer Zunahme des Informationsgehaltes der subjektive Nutzen steigt, die Lesbarkeit und Verständlichkeit jedoch abnehmen.

## Bewertung der Schildvarianten

Variante 1:

Schildvariante 1 enthält keine Reisezeitinformationen und dient damit als Vergleichspunkt bzw. Basisrate. Gemäß den Erwartungen hatte diese Darstellungsvariante die kürzesten Entscheidungs- und Betrachtungszeiten. Neben diesen objektiven Daten spricht auch die subjektive Bewertung der Probanden für die beste Lesbarkeit und höchste Verständlichkeit. Diese Schildvariante erfüllt den Anspruch an eine internationale Verständlichkeit

Variante 2:

Schildvariante 2 beinhaltet die meisten Informationen, da hier zusätzlich zur Staulänge auch die Dauer des Staus sowie die zusätzliche Dauer durch die Nutzung der Umfahrung im Vergleich zur Standardroute ohne Stau angegeben sind, woraus sich vom Fahrer selbst der Gewinn durch das Nutzen der Umfahrung ermitteln lässt. Aufgrund dieser Fülle an Informationen führte diese Variante zu den längsten Entscheidungs- und Betrachtungszeiten. Es ist anzumerken, dass auch Variante 2 den Anspruch an eine internationale Verständlichkeit erfüllt.

Variante 3:

Auf Schildvariante 3 befindet sich, im Gegensatz zu Variante 2, nur eine Zeitangabe, welche den Zeitgewinn durch das Nutzen der Umfahrung angibt. Hinsichtlich der Entscheidung zur Routenwahl, führte diese Variante (nach der Vergleichsvariante 1) zu den besten Ergebnissen. Im Hinblick auf die Betrachtungsdauer ergaben sich ähnliche Zeiten wie bei den anderen Varianten mit Reisezeitangaben. Gemäß der subjektiven Bewertung der Probanden stellte die Darstellungsvariante 3 möglicherweise einen Kompromiss aus allen Kriterien dar, da sie sowohl als gut lesbar und verständlich als auch als besonders nützlich empfunden wurde.

Variante 4:

Schildvariante 4 ist eine Kombination aus den Varianten 2 und 3. Zusätzlich zum Gewinn enthält diese in der Vorbefragung sehr positiv bewertete Variante zusätzlich eine Angabe zur Staudauer. In der Entscheidungsaufgabe ergaben sich ähnliche Zeiten wie bei Variante 3, da die Entscheidungskriterien eine gleiche Vorgehensweise erforderten. Der

große Informationsgehalt wurde bezüglich der schnellen Lesbarkeit und Verständlichkeit von den Probanden im Vergleich als weniger gut bewertet. Der Nutzen hingegen wurde bei Variante 4 sehr hoch eingeordnet. Damit ist diese Darstellungsform hinter Variante 3 auf dem zweiten Platz der favorisierten Schildvarianten.

### **Übertragbarkeit der Ergebnisse auf eine reale Fahrsituation**

Laborexperimente werfen im Allgemeinen die Frage auf, inwiefern die gefundenen Ergebnisse auf reale Situationen übertragen werden können. Ein Untersuchungsdesign als Laborversuch ohne parallele Fahraufgabe wurde gewählt, um mögliche minimale Unterschiede zwischen den einzelnen Darstellungen der Zeitangaben nicht durch zusätzliche Faktoren zu verdecken. Die ermittelten Werte repräsentieren daher Minimalwerte, die unter optimalen Bedingungen (v. a. hohe Vertrautheit mit der Strecke und dem Schild) zu erwarten sind. Ob die experimentell ermittelten Zeiten mit einem „Aufschlag“ zu versehen sind, ist strittig, da zwar eine Belastung durch die Fahraufgabe besteht, andererseits aber auch Routinen zur Kompensation entwickelt werden. Fahrer betrachten Informationen relativ lange (bis ca. zwei Sekunden) und zeigen dazwischen sehr kurze Kontrollblicke zur Fahrbahn (ca. 100 ms). Dabei werden bei wiederholter Nutzung einzelne relevante Schildinhalte meist selektiv betrachtet.

Eine Art „maximale“ Betrachtungszeit wurde durch die Aufgabe des vollständigen Lesens der Schildinhalte erhoben. Sie könnte einen Hinweis auf die Zeit geben, die Fahrer zum Lesen von ihnen nicht vertrauten dWiSta-Tafeln benötigen.

Nach dem Ausschluss von Messungen, bei denen die Probanden eindeutig „memorierten“, ergaben sich Maximalzeiten von knapp sieben Sekunden.

Diese liegen deutlich unter dem bereits erwähnten Wert von zehn Sekunden, den ein Fahrer beim zweimaligen Darbieten des Schildes, bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h, zur Informationsaufnahme zur Verfügung hat.

### **Empfehlung aus wahrnehmungs-psychologischer Perspektive**

Aus individueller Sicht des Fahrers, als Nutzer der dynamischen Wegweiser, sollte die Darstellung der

Reisezeiten eine optimale Aufnahme und Verarbeitung der Informationen ermöglichen. Sowohl objektive als auch subjektive Daten sprechen diesbezüglich für Variante 3. Über die verschiedenen Teile des Laborexperiments hinweg brachte die Darstellungsform mit dem Reisezeitgewinn die überzeugendsten Ergebnisse hervor und kann daher aus psychologischer Perspektive empfohlen werden.

Die Ergebnisse des Experiments zeigen, dass auch die verbleibenden Varianten für einen Einsatz in Frage kommen, da die Unterschiede teilweise sehr gering waren und kritische Werte weitestgehend nicht überschritten wurden.

Es wird angemerkt, dass die als Referenz (Bezugsfall) in die Untersuchung aufgenommene Variante 1 positive Resultate hinsichtlich Lesbarkeit, Verständlichkeit und schneller Interpretation erzielte und somit ihre Eignung für den Einsatz (ohne Zeitangaben) bewies.

Kritisch zu sehen ist, dass bei einem naiven Erstkontakt mit den Inhalten eines dWiSta-Schildes in der Vorbefragung Verständnisschwierigkeiten des Gesamt-Schildes (alle Angaben, außer Zeitinformationen) auftraten. Meist war den Probanden nicht klar, dass es sich um eine Umleitungsempfehlung handelte.

## **6 Ergebnisse und Empfehlungen**

### **6.1 Reisezeitberechnung**

Die Verfahren OLSIM, ddg, ASDA/FOTO und EINFACHER ANSATZ nutzen als Eingangsdaten die an stationären Messquerschnitten erhobenen und abgeleiteten Verkehrskenngrößen zur Berechnung der Fahrtzeit. Das Verfahren MAVE-S erkennt die Fahrzeuge an zwei Querschnitten wieder und berechnet die Fahrtzeit als Differenz der beiden Überfahrtzeitpunkte.

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass alle in das Forschungsvorhaben einbezogenen Verfahren bei einem freien Verkehrsfluss zutreffende Fahrtzeiten berechnen. Die Fahrtzeiten können als Grundlage für die Anzeige von Reisezeitinformation in dWiSta verwendet werden. Für eine abschließende Beurteilung der Verfahren bei einem gestörten Verkehrsfluss reichen die der Untersuchung zugrunde liegenden Daten nicht aus, insbesondere auch deshalb, weil für die Verkehrsstufen

gestörter Verkehrsfluss unabhängige Kontrollmessungen nicht in ausreichender Anzahl vorliegen. Der direkte Vergleich der Verfahren untereinander zeigt, dass auch bei einem gestörten Verkehrsfluss überwiegend Fahrtzeiten in ähnlicher Größe ermittelt werden. Es wird aber auch deutlich, dass die Berechnung einer verlässlichen Fahrtzeit bei einem stark gestörten Verkehrsfluss, z. B. bei Stop-and-go-Verkehr zunehmend schwieriger wird. Die Fahrtzeiten unterschiedlicher Verfahren können deutlich voneinander abweichen.

Für die Qualität der berechneten Fahrtzeiten, insbesondere bei einem gestörten Verkehrsablauf, ist der Abstand zwischen den Messquerschnitten mit ausschlaggebend. Unter technischen und finanziellen Aspekten vertretbar wird ein mittlerer Messquerschnittsabstand von rund 2 km angesehen. Beim Verfahren MAVE-S, das die Durchfahrtszeit zwischen zwei Messquerschnitten über eine Fahrzeugwiedererkennung misst, können größere Abstände zwischen den einzelnen Messquerschnitten gewählt werden, ohne das Ergebnis zu verschlechtern. Allerdings erfordert das Verfahren gegenüber der an Autobahnen üblichen Verkehrsdatenerfassung zusätzliche technische Infrastruktur.

Insgesamt gesehen wird die Qualität der Fahrtzeitberechnung bei allen Verfahren als relativ gleichwertig angesehen.

Es wird empfohlen, Fahrtzeiten beziehungsweise Fahrtzeitdifferenzen zwischen Haupt- und Alternativroute erst ab bestimmten Schwellenwerten in den dWiSta anzuzeigen. Die Schwellenwerte sind einzelfallabhängig festzulegen. Dabei ist auch die längere Strecke der Alternativroute mit einzubeziehen, um zu vermeiden, dass der zeitliche Vorteil auf der Alternativroute durch höhere Betriebskosten kompensiert wird oder gar verloren geht. Um zu große Erwartungen an die Genauigkeit der angezeigten Fahrtzeiten durch den Verkehrsteilnehmer zu vermeiden, bietet es sich an, Fahrtzeiten oder Fahrtzeitunterschiede nur in 5-Minuten-Stufen anzuzeigen.

Im Hinblick auf die Anzeige verlässlicher Reisezeitinformationen in dWiSta sollten bei der Fahrtzeitermittlung für die durchgängige Haupt- und Alternativroute auf Streckenabschnitten, bei denen „regelmäßig“ mit sehr unterschiedlichen Verkehrszuständen auf den einzelnen Fahrstreifen zu rechnen ist, durch geeignete Verfahren, z. B. empirisch ermittelte Zeitzu- oder -abschläge, solche Fehler klein gehalten werden.

## 6.2 Anzeigehalte und -formen für Reisezeitinformationen

Nach den Angaben zu Staulänge und einer möglichen Umfahrung ist die Angabe über die Stauzeit die dritthäufigste von Kraftfahrern gewünschte Information. Die Darbietung dieser Informationen müssen aber klar, verständlich und in sehr kurzer Zeit erfassbar sein. Diese Randbedingungen wurden schon bei der Entwicklung der dWiSta-Tafeln berücksichtigt. Innerhalb dieses Rahmens wurden mögliche Darstellungsformen für die Anzeige von Reisezeitinformationen entworfen. Eine Vorausswahl erfolgte u. a. durch potenzielle Nutzer mit Hilfe eines strukturierten Interviews. Die drei am besten beurteilten Konzepte wurden zusammen mit dem Bezugsfall (dWiSta gemäß [11]) in einem Laborexperiment vergleichend getestet. Die Kriterien waren eine schnelle Routenentscheidung unter vorgegebenen Kriterien, eine vollständige Informationsaufnahme aller Inhalte auf dem Schild und eine subjektive Bewertung auf den Dimensionen Lesbarkeit, Verständlichkeit und Akzeptanz.

Als Ergebnis steht aus Fahrersicht die Variante, die den möglichen Zeitgewinn durch die Nutzung der Umfahrung explizit darstellt. Aber auch die anderen zwei Anzeigeformen mit Zeitangaben sowie der Bezugsfall ohne Zeitangaben überschreiten nicht die kritischen Grenzwerte für die Informationsaufnahme und -interpretation.

## 6.3 Praktische Anwendung

Die Bereitstellung aktueller Fahrtzeiten für Haupt- und Alternativroute ist einfach möglich. Hierzu bedarf es nur einer leicht realisierbaren Kopplung zwischen dem Rechner des „Fahrtzeitlieferanten“ und der zuständigen Stelle in der Straßenbauverwaltung. Eine direkte Anzeige dieser Fahrtzeiten in dWiSta ist aber nicht sinnvoll. Vor der Anzeige muss geprüft werden, ob die berechneten Fahrtzeiten nicht im Widerspruch zu den Umleitungsempfehlungen stehen, insbesondere dann, wenn Umleitungsempfehlungen aus übergeordneten Gesichtspunkten heraus geschaltet werden sollen. Eine entsprechende Überprüfung ist ferner bei großen Verkehrsstörungen besonders wichtig, weil in solchen Verkehrssituationen die berechneten Fahrtzeiten sehr stark schwanken können. Dadurch können für die Alternativroute im Vergleich zur Hauptroute temporär ungünstige Fahrtzeitkonstellationen entstehen, die die Entscheidung für die

Fall	Variante 2		Variante 3		Variante 4		Variante a	
	T <sub>Verlust-Haupt</sub>	T <sub>Verlust-Alternativ</sub>	-	T <sub>Gewinn</sub>	T <sub>Verlust-Haupt</sub>	T <sub>Gewinn</sub>	T <sub>Verlust-Haupt</sub>	-
$T_{Fzt-Hauptroute} - T_{Fzt-Alternativroute} > 0$ und $> T_{Schwellenwert}$	positiv		positiv		positiv		positiv*)	
$T_{Fzt-Hauptroute} - T_{Fzt-Alternativroute} > 0$ und $> T_{Schwellenwert}$	unsicher		unsicher		unsicher		positiv*)	
$T_{Fzt-Hauptroute} - T_{Fzt-Alternativroute} < 0$	negativ		negativ		Reisezeitanzeige unsinnig		positiv*)	
Nur Fahrzeit für Alternativroute	Reisezeitanzeige nicht möglich		Reisezeitanzeige nicht möglich		Reisezeitanzeige nicht möglich		Reisezeitanzeige nicht möglich	
Nur Fahrzeit für Hauptroute	Reisezeitanzeige nicht möglich		Reisezeitanzeige nicht möglich		Reisezeitanzeige nicht möglich		positiv*)	
Keine Fahrzeiten verfügbar	Reisezeitanzeige nicht möglich		Reisezeitanzeige nicht möglich		Reisezeitanzeige nicht möglich		Reisezeitanzeige nicht möglich	

\*) Variante im Experiment nicht untersucht, deshalb Einschätzung nur qualitativ

Tab. 6.1: Wirkungen unterschiedlicher Anzeigeformen auf die Umleitungsempfehlung

Befolgung der empfohlenen Alternativroute negativ beeinflussen.

Eine manuelle Plausibilisierung der in der Verkehrszentrale minütlich eingehenden Fahrtzeiten und eine manuelle Aktualisierung der Fahrtzeiten sind aufgrund der damit verbundenen Personalbindung nicht sinnvoll. Von daher besteht die Notwendigkeit, automatisierte Prüfroutinen zu entwickeln.

Die aus Sicht der Verkehrsteilnehmer bevorzugte Anzeigeform erfordert das Vorliegen der Fahrtzeiten von Haupt- und Alternativroute. Diese müssen jedoch nicht immer vorliegen. Auch könnte eine Reisezeitanzeige von nur einem kleinen Gewinn kontraproduktiv auf die gegebene Umleitungsempfehlung wirken. In Tabelle 6.1 sind für alle denkbaren Konstellationen von Fahrtzeiten auf Haupt- und Alternativroute die Wirkungen auf die Umleitungsempfehlung dargestellt. Neben den Varianten 3, 2 und 4 ist in Tabelle 6.1 zusätzlich Variante a, in der nur die Verlustzeit auf der Hauptroute angezeigt wird, mit aufgenommen. Diese Variante, wurde im Rahmen der Vorauswahl verworfen, wird aber von mehreren Straßenbauverwaltungen als zweckmäßig eingestuft.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde nicht untersucht, ob und wenn ja in welchem Maße, die Angabe zusätzlicher Reisezeitinformationen in dWiSta die Befolgung der gegebenen Umleitungsempfehlung positiv beeinflusst. In Tabelle 6.1 ist deshalb der Bezugsfall, in dem keine Reisezeitinformationen angezeigt werden, nicht mit aufgenommen. Er ist wegen der fehlenden Reisezeitinforma-

tion im Hinblick auf die Wirkung der Befolgung der Alternativroutenempfehlung nicht direkt vergleichbar.

Eine Variante, die nur die Verlustzeit für die Alternativroute anzeigt, wird aufgrund ihrer grundsätzlich als negativ eingeschätzten Wirkung auf die Befolgung der Alternativroutenempfehlung in Tabelle 6.1 nicht betrachtet.

Bei den im wahrnehmungspsychologischen Experiment untersuchten Varianten mit Reisezeitinformation wird die Wirkung auf die gegebene Umleitungsempfehlung nur dann als positiv beurteilt, wenn die Fahrtzeit auf der Hauptroute größer ist als die auf der Alternativroute und der Schwellenwert für die Anzeige überschritten wird. Es besteht aber auch die Möglichkeit, dass der Schwellenwert zur Anzeige nicht erreicht wird oder die Fahrtzeit auf der Alternativroute länger ist als auf der Hauptroute. In beiden Fällen wäre eine Anzeige der Reisezeitinformation im Hinblick auf die Befolgung der Umleitungsempfehlung bei den Varianten 2, 3 und 4 nicht hilfreich oder sogar kontraproduktiv. Die Varianten 2, 3 und 4 erfordern immer, dass sowohl die Fahrtzeit auf der Haupt- als auch Alternativroute vorliegt. Beim Fehlen einer der beiden Fahrtzeiten ist die Anzeige einer der drei Varianten nicht mehr möglich.

Bei der Variante a ist eine Anzeige immer dann möglich, wenn für die Hauptroute die Verlustzeit (aktuelle Fahrtzeit minus Normfahrtzeit) berechenbar ist. Diese Zeitangabe wird als zusätzliche Information zur Staulänge angeboten und steht nicht in Konkurrenz zu anderen Angaben. Lediglich bei

sehr kurzen Verlustzeiten könnte die Reisezeitinformation kontraproduktiv wirken, wenn die Verkehrsteilnehmer aufgrund der nur kurzen Verlustzeit auf der Hauptroute bleiben und damit der Umleitungsempfehlung nicht folgen. In einem solchen Fall handelt es sich aber um eine kleine Verkehrsstörung (da nur geringe Verlustzeit). Es stellt sich dann die Frage, ob die dWiSta überhaupt aktiviert werden.

Im Vergleich zu den Varianten 2, 3 und 4 weist die Variante a den größeren Einsatzbereich auf, liefert dem Fahrer aber keine Informationen über den Zeitverlust auf der Alternativroute.

#### 6.4 Weiterer Forschungsbedarf

Obwohl bei gestörtem Verkehrsfluss die Verfahren überwiegend Fahrtzeiten in vergleichbarer Größe berechnen, weichen die Fahrtzeiten teilweise auch deutlich voneinander ab. Insbesondere die Berechnung von Fahrtzeiten bei Stop-and-go-Verkehr erweist sich als schwierig. Die Datengrundlage lässt im Hinblick auf die Genauigkeit der Fahrtzeitberechnungen bei zähfließendem und gestautem Verkehrsfluss aber keine abschließende Beurteilung der Eignung der untersuchten Verfahren zu, auch weil unabhängige Kontrollmessungen als Vergleichsmaßstab nicht ausreichend zur Verfügung standen. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Weiterer Forschungsbedarf zeigt sich ebenso bei der Einbindung von Reisezeitinformationen in automatisierte Steuerungsmodule zur Empfehlung/Schaltung einer Alternativroute im Störfall (dies wurde im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nicht untersucht) und der Sicherstellung, dass die in dWiSta angezeigten Fahrtzeiten nicht im Widerspruch zur ebenfalls angezeigten Staulänge stehen.

Darüber hinaus sind Fragestellungen im Zusammenhang mit dem Befolgungsgrad der empfohlenen Alternativroute von generellem Interesse, aber auch im Hinblick auf die Darstellungsform der Reisezeitinformation.

## 7 Literatur

- [1] Arsenal research (Hrsg.): Fleet Verbesserung des Fleet Logistik Service mit Egnos & Gallileo Satelliten Technologie/Verkehrsinformation in Echtzeit mittels Floating Car Data [[http://www.arsenal.ac.at/products/products\\_mob\\_fcd\\_de.html](http://www.arsenal.ac.at/products/products_mob_fcd_de.html)]
- [2] ave Verkehrs- und Informationstechnik GmbH: MAVE – die Komplettlösung für modernes Verkehrsmanagement, Aachen, 1988
- [3] ave Verkehrs- und Informationstechnik GmbH: MAVE-S – System zur aktuellen Analyse des Verkehrsflusses mit Erfassung von streckenbezogenen und lokalen Verkehrsdaten, Systembeschreibung, Aachen, 1988
- [4] BACCHI, M., BRACCINI, A.: Telematics in Autostrade: from travel time detection to traffic information on 3G mobile phones – 12<sup>th</sup> World Congress Final Paper Template
- [5] BAUR, O.: Verkehrserhebung und Nachfolgefahrten auf BAB im Ruhrgebiet zur Überprüfung des OLSIM-Modells, Institut für Straßenwesen, RWTH, Aachen, Juli 2005
- [6] BECKMANN, A., ZACHOR, H.: Untersuchung und Eichung von Verfahren zur aktuellen Abschätzung von Staudauer und Staulängen infolge von Tages- und Dauerbaustellen auf Autobahnen, Universität GH Kassel. In: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 808 Bonn, 2005
- [7] BÖHNKE, P., BÖKER, R., PFANNERSTILL, E., ZIEGLER, R. STREMMER, W.: Ein Verkehrsdatenerfassungssystem für das Straßennetz – Konzept und Realisierung, FREQUENZ, (41/1987), S. 88-94
- [8] BÖHNKE, P.: Verkehrsinformationssystem mit passiven Fahrzeugen: MAVE-System, Straßen und Verkehr 2000, Intern. Verkehrskonferenz, Berlin, 1988
- [9] BOVY, P. H. L., STERN, E.: Route choice: Way finding in transport networks, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 1990
- [10] BOUYER, M.: Étude sur les temps de Parcours, Präsentation, 1/2005
- [11] Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.): Dynamische Wegweiser mit integrierten Stauin-

- formationen (dWiSta) – Hinweise für die einheitliche Gestaltung und Anwendung an Bundesfernstraßen, Bergisch Gladbach, Ausgabe 2004
- [12] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (Hrsg.): Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen TLS, Stand 2002
- [13] BUSCH, Ch.: VESUV – Ein Verkehrserfassungssystem unter Videoeinsatz zur lokalen und streckenbezogenen Erhebung von Verkehrsdaten, 12.05.2006
- [14] BUSCH, Ch., DÖRNER, R., FREYTAG, Ch., ZIEGLER, H.: Streckenbezogene Verkehrsdatenerfassung durch merkmalsbasierte Wiedererkennung, Darmstadt, 1998
- [15] CHENG, J. J.: Driver perceptions of the effectiveness of VMS, University of Waterloo, tec, Assessing attitudes to VMS, p. 383-386, Canada, November 2002.
- [16] CHEN, C.: Travel Times on Changeable Message Signs: Pilot Project, University of California, Berkely, USA, December 2003
- [17] CHROBOK, R. HAFSTEIN, S.-F., POTTMEIER, A.: OLSIM: A New Generation of Traffic Information Systems, University Duisburg-Essen, 2004, 23.06.2006
- [18] DAMRATH, R., ROSE, M.: Dynamische Verkehrsprognosen auf Basis makroskopischer Modellansätze, Universität Hannover, in: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 854, Bonn, Oktober 2002
- [19] De HAAN, H. J.: Cross Border Management, in: Centrico NEWS, p. 5, Edition 9/05
- [20] DUDEK, C. L.: Dynamic Message Sign, Message Design and Display Manual, Report Nr. FHWA/TX-04/0-4023-P1, Texas Transportation Institute, TAMU, 2004
- [21] FÄRBER, B., FÄRBER, B., SIEGENER, W., TRÄGER, K.: Dynamische Verkehrsinformationstafeln: Teil 1: Verkehrstechnik (SIEGENER, W., TRÄGER, K.), Teil 2: Nutzungsbedürfnisse und wahrnehmungspsychologische Gestaltung (FÄRBER, B., FÄRBER, B.), Universität der Bundeswehr, Inst. für Arbeitswissenschaft München; IS-V – Ing.-Büro, Siegener Verkehrstechnik GmbH, Karlsruhe, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 916, Bonn, 2005
- [22] FASTENRATH, U.: Nationwide Traffic modelling as the Basis for High Quality Content, Vortrag auf dem International IIR Congress E-Car am 02-03.12.2003 in Stuttgart
- [23] FELDGES, M.: Reisezeitprognose für dynamische Park-and-Ride-Systeme, Mitteilung Nr. 36, RWTH Aachen, Institut für Straßenwesen, Aachen, 1994
- [24] FERRÉ, J.: Travel times, in: Centrico News, p. 7, 9/2005
- [25] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen (MARZ), Ausgabe 1999
- [26] GEISTEFELDT, J.: Schätzung von Reisezeiten auf Autobahnen unter Verwendung eines erweiterten Verkehrsflussmodells, in: Tagungsband HEUREKA '05 – Optimierung in Verkehr und Transport, S. 639-651, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2005
- [27] HARTZ, B., SCHMIDT, M.: Dynamische Wegweiser mit integrierten Stauinformationen (dWiSta), in: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 924, Bonn, 2005
- [28] HICKS MEEHAN, B.: Travel Times in Dynamic Message Signs, ITE Journal, 09/05
- [29] HIDAS, P., AWADALLA, E.: Modelling driver response to variable message signs for incident management, Road & Transport Research, Vo.I 12/No 2, June 2003
- [30] HUBER, W.: Fahrzeuggenerierte Daten zur Gewinnung von Verkehrsinformationen, \_verkehr/\_pdf/8\_4\_5\_Fahrzeuggenerierte\_Daten.pdf, 12.05.2006
- [31] KATSIKOPOULOS, K. V., DUSE-ANTHONY, Y., FISHER, D. L., DUFFY S. A.: The framing of drivers' route choices when travel time information is provided under varying degrees of cognitive load, 2000 Fall; 42 (3):470-81, Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Massachusetts, Amherst 01003 (USA), 2000

- [32] KERNER, S., KIRSCHFINK, H., REHBORN, H.: Automatische Stauverfolgung auf Autobahnen, Straßenverkehrstechnik, Heft 9, S. 430-8, 1997
- [33] KERNER, B. S., REHBORN, H., ALEKSIC, M., HAUG, A., LANGE, R.: Verfolgung und Vorhersage von Verkehrsstörungen auf Autobahnen mit „ASDA“ und „FOTO“ im Online-Betrieb in der Verkehrsrechnerzentrale Rüsselsheim, Straßenverkehrstechnik, Heft 10, S. 521-527, 2000
- [34] KWELLA, B., LEHMAN, H., SKROBOTZ, D.: BERTRAM – individuelle Verkehrsanalyse für mehr Mobilität, Der GMD-Spiegel, 1-2/2000
- [35] LI, R.: Comparative performance of speed-based travel time estimation models, Road & Transport Research, Vol. 13/No. 3, September 2004
- [36] LINAUER, M.: FCD-Algorithmen – Effiziente Verkehrsmonitoring-Algorithmen für Verkehrsinformationszentralen – Case Study, Arsenal research [[http://www.arsenal.ac.at/partners/Marie %20Curie.pdf](http://www.arsenal.ac.at/partners/Marie%20Curie.pdf)]
- [37] MARINOSON, S.-F., CHROBOK, R., POTTMEIER, A., WAHLE, J., SCHRECKENBERG, M.: Simulation des Autobahnverkehrs in NRW [<http://scholar.google.com/scholar?hl=de&lr=&q=cache:2mWbHBxhsgQJ:www.traffic.uni.duisburg.de/~chrobok/skripte/ASIM2002.pdf+Autobahnverkehr+%2B+Chrobok>, 12.05.2006]
- [38] MEIER-EISERMANN, E., LAUBE, R., BELOPITOV, I.: Stauzeit statt Staulänge – FA VSS 2001/301, Eidgenössisches Department für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bundesamt für Strassen, Oktober 2004
- [39] PFANNERSTILL, E.: Object Recognition and Correlation Methods for Traffic, Flow Analysis, 8<sup>th</sup> International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Conference Proceedings, CD-ROM, Vienna/Austria 13-16 Sept. 2005
- [40] PATERSON, D., ROSE, G.: Dynamic travel time estimation on instrumented freeways, Institute of Transport Studies, Department of Civil Engineering, Monash University
- [41] REHBORN, H.: Anwendungen der Drei-Phasen-Verkehrstheorie nach Kerner, Vortrag am 08. April 2005 [[http://www.dlr.de/fs/PortalData/16/Resources/dokumente/vk/VP\\_FS\\_EX\\_Vortrag\\_Rehborn\\_050407.pdf](http://www.dlr.de/fs/PortalData/16/Resources/dokumente/vk/VP_FS_EX_Vortrag_Rehborn_050407.pdf)]
- [42] SCHNÖRR, C.: Von der Messwerterfassung bis zur automatisch generierten Verkehrsmeldung, Straßenverkehrstechnik, 2000, Heft 1, S. 11-18
- [43] SCHUCKFLIEß, W.: Entwicklung eines makroskopischen Modells zur Prognose von MIV-Reisezeiten, Aachener Mitteilungen Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau (43), S. 569-91, 2003
- [44] Technische Universität München (Hrsg.): Reisezeitmessung aus Fahrzeugwiedererkennung, 12.05.2006
- [45] Travel Time Estimation, European workshop (organised by SERTI project an initiative by TEN-T Euro-Regional Project) – Kurzfassungen der Vorträge, Avignon, 8.-9. November 2001
- [46] WIEDEMANN, R., SCHWERDTFEGGER, T.: Makroskopisches Simulationsmodell für Schnellstraßennetz mit Berücksichtigung von Einzelfahrzeugen (DYNEMO), Universität Karlsruhe, in: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 500, Bonn, 1987
- [47] WS Atkins Consultants: TROPIC, TRAffic OPTimisation by the Integration of Information and Control, Trial Phase, Final Report. TROPICII, D13.4, Birmingham, 1999
- [48] YIM, Y., YGNACE, J.-L.: Variable Message Signs and Link Flow – Evaluation: A Case Study of the Paris Region, California PATH Working Paper UCB-IST-PWP-95-5, 1995
- [49] TREIBER, M., HELBING, D.: Reconstructing the spatio-temporal traffic dynamics from stationary detector data, veröffentlicht im Internet-Journal Cooperative Transportation Dynamics, 2002 [<http://vwitme011.vkw.tudresden.de/TrafficForum/journal/index.html>]
- [50] MEEHAN, BRANDY HICKS: Travel Times on Message Signs; ITE Journal, September 2005
- [51] RUITER de, J. C. C., SCHOUTEN, W. J. J. P., FRIJDAL, J. H.: Berekenen van reistijden door het MoniBas system [<http://www.belmont.nl/downloads/berekenenreistijdendoormonibas.pdf>]

- [52] ROBINSON, S., POLAK, J.: Methode zur Beseitigung von Fehlern bei Kennzeichenerhebungen (Org. engl. Overtaking rule method for the cleaning of matched license-plate data), Journal of Transportation Engineering 132, Nr. 8, S. 609-617, 2006

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Verkehrstechnik“

## 2004

- V 110: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2001 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen  
Laffont, Nierhoff, Schmidt, Kathmann € 22,00
- V 111: Autobahnverzeichnis 2004 (erschienen 2005)  
Kühnen € 21,50
- V 112: Einsatzkriterien für Betonschutzwände (vergriffen)  
Steinauer, Kathmann, Mayer, Becher € 21,50
- V 113: Car-Sharing in kleinen und mittleren Gemeinden  
Schweig, Keuchel, Kleine-Wiskott, Hermes, van Acken € 15,00
- V 114: Bestandsaufnahme und Möglichkeiten der Weiterentwicklung von Car-Sharing  
Loose, Mohr, Nobis, Holm, Bake € 20,00
- V 115: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2002 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen  
Kathmann, Laffont, Nierhoff € 24,50
- V 116: Standardisierung der Schnittstellen von Lichtsignalanlagen – Zentralrechner/Knotenpunktgerät und Zentralrechner/  
Ingenieurarbeitsplatz  
Kroen, Klod, Sorgenfrei € 15,00
- V 117: Standorte für Grünbrücken – Ermittlung konfliktreicher Streckenabschnitte gegenüber großräumigen Wanderungen jagdbarer Säugetiere  
Surkus, Tegethof € 13,50
- V 118: Einsatz neuer Methoden zur Sicherung von Arbeitsstellen kürzerer Dauer  
Steinauer, Maier, Kemper, Baur, Meyer € 14,50

## 2005

- V 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 – Band 1 bis Band 5  
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-Simovió Bozkurt, Buchmann, Roeterink € 15,50
- V 125: PM<sub>10</sub>-Emissionen an Außerortsstraßen – 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 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen  
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
- V 138: Kontinuierliche Stickoxid (NO<sub>x</sub>)- und Ozon (O<sub>3</sub>)-Messwertaufnahme an zwei BAB mit unterschiedlichen Verkehrsparametern 2004  
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,50
- V 139: Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Taumittelsprühanlagen  
Wirtz, Moritz, Thesenvitz € 14,00
- V 140: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2004 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen  
Fitschen, Koßmann € 15,50
- V 141: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 2003  
Lensing € 15,00
- V 142: Sicherheitsbewertung von Maßnahmen zur Trennung des Gegenverkehrs in Arbeitsstellen  
Fischer, Brannolte € 17,50
- V 143: Planung und Organisation von Arbeitsstellen kürzerer Dauer an Bundesautobahnen  
Roos, Hess, Norkauer, Zimmermann, Zackor, Otto € 17,50
- V 144: Umsetzung der Neuerungen der StVO in die straßenverkehrsrechtliche und straßenbauliche Praxis  
Baier, Peter-Dosch, Schäfer, Schiffer € 17,50
- V 145: Aktuelle Praxis der Parkraumbewirtschaftung in Deutschland  
Baier, Klemps, Peter-Dosch € 15,50
- V 146: Prüfung von Sensoren für Glättmeldeanlagen  
Badelt, Breitenstein, Fleisch, Häusler, Scheurl, Wendl € 18,50
- V 147: Luftschadstoffe an BAB 2005  
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,00
- V 148: Berücksichtigung psychologischer Aspekte beim Entwurf von Landstraßen – Grundlagenstudie –  
Becher, Baier, Steinauer, Scheuchenpflug, Krüger € 16,50
- V 149: Analyse und Bewertung neuer Forschungserkenntnisse zur Lichtsignalsteuerung  
Boltze, Friedrich, Jentsch, Kittler, Lehnhoff, Reusswig € 18,50

V 150: Energetische Verwertung von Grünabfällen aus dem Straßenbetriebsdienst  
Rommeiß, Thrän, Schlägl, Daniel, Scholwin € 18,00

## 2007

V 151: Städtischer Liefer- und Ladeverkehr – Analyse der kommunalen Praktiken zur Entwicklung eines Instrumentariums für die StVO  
Böhl, Mausa, Kloppe, Brückner € 16,50

V 152: Schutzeinrichtungen am Fahrbahnrand kritischer Streckenabschnitte für Motorradfahrer  
Gerlach, Oderwald € 15,50

V 153: Standstreifenfreigabe – Sicherheitswirkung von Umnutzungsmaßnahmen  
Lemke € 13,50

V 154: Autobahnverzeichnis 2006  
Kühnen € 22,00

V 155: Umsetzung der Europäischen Umgebungslärmrichtlinie in Deutsches Recht  
Bartolomaeus € 12,50

V 156: Optimierung der Anfeuchtung von Tausalzen  
Badelt, Seliger, Moritz, Scheurl, Häusler € 13,00

V 157: Prüfung von Fahrzeugrückhaltesystemen an Straßen durch Anprallversuche gemäß DIN EN 1317  
Klößner, Fleisch, Balzer-Hebborn, Ellmers, Friedrich, Kübler, Lukas € 14,50

V 158: Zustandserfassung von Alleebäumen nach Straßenbaumaßnahmen  
Wirtz € 13,50

V 159: Luftschadstoffe an BAB 2006  
Baum, Hasskelo, Siebertz, Weidner € 13,50

V 160: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2005 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen  
Fitschen, Koßmann € 25,50

V 161: Quantifizierung staubedingter jährlicher Reisezeitverluste auf Bundesautobahnen – Infrastrukturbedingte Kapazitätsengpässe  
Listl, Otto, Zackor € 14,50

V 162: Ausstattung von Anschlussstellen mit dynamischen Wegweisern mit integrierter Stauinformation – dWiSta  
Grahl, Sander € 14,50

V 163: Kriterien für die Einsatzbereiche von Grünen Wellen und verkehrshängigen Steuerungen  
Brilon, Wietholt, Wu € 17,50

V 164: Straßenverkehrszählung 2005 – Ergebnisse  
Kathmann, Ziegler, Thomas € 15,00

## 2008

V 165: Ermittlung des Beitrages von Reifen-, Kupplungs-, Brems- und Fahrbahnabrieb an den PM<sub>10</sub>-Emissionen von Straßen  
Quass, John, Beyer, Lindermann, Kühlbusch, Hirner, Sulkowski, Sulkowski, Hippler € 14,50

V 166: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2006 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen  
Fitschen, Koßmann € 26,00

V 167: Schadstoffe von Bankettmaterial – Bundesweite Datenauswertung  
Kocher, Brose, Siebertz € 14,50

V 168: Nutzen und Kosten nicht vollständiger Signalisierungen unter besonderer Beachtung der Verkehrssicherheit  
Frost, Schulze € 15,50

V 169: Erhebungskonzepte für eine Analyse der Nutzung von alternativen Routen in übergeordneten Straßennetzen  
Wermuth, Wulff € 15,50

V 170: Verbesserung der Sicherheit des Betriebspersonals in Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Bundesautobahnen  
Roos, Zimmermann, Riffel, Cypra € 16,50

V 171: Pilotanwendung der Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN)  
Weinert, Vengels € 17,50

V 172: Luftschadstoffe an BAB 2007  
Baum, Hasskelo, Siebertz, Weidner € 13,50

V 173: Bewertungshintergrund für die Verfahren zur Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offenerporiger Straßenbeläge  
Altreuther, Beckenbauer, Männel € 13,00

V 174: Einfluss von Straßenzustand, meteorologischen Parametern und Fahrzeuggeschwindigkeit auf die PM<sub>x</sub>-Belastung an Straßen  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.  
Düring, Lohmeyer, Moldenhauer, Knörr, Kutzner, Becker, Richter, Schmidt € 29,00

V 175: Maßnahmen gegen die psychischen Belastungen des Personals des Straßenbetriebsdienstes  
Fastenmeier, Eggerdinger, Goldstein € 14,50

## 2009

V 176: Bestimmung der vertikalen Richtcharakteristik der Schallabstrahlung von Pkw, Transportern und Lkw  
Schulze, Hübelt € 13,00

V 177: Sicherheitswirkung eingefräster Rüttelstreifen entlang der BAB A24  
Lerner, Hegewald, Löhe, Velling € 13,50

V 178: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2007 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen  
Fitschen € 13,00

V 179: Straßenverkehrszählung 2005: Methodik  
Kathmann, Ziegler, Thomas € 15,50

V 180: Verteilung von Tausalzen auf der Fahrbahn  
Hausmann € 14,50

V 181: Voraussetzungen für dynamische Wegweisung mit integrierten Stau- und Reisezeitinformationen  
Hülsemann, Krems, Henning, Thiemer € 18,50

---

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

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

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.