

Verfasseranschriften:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. F. Busch,
fritz.busch@tum.de;

Dipl.-Ing. I. Fiedler,
iris.fiedler@tum.de,

Technische Universität
München, Lehrstuhl für Ver-
kehrstechnik, Arcisstraße 21,
80333 München;

Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Friedrich,
markus.friedrich@isv.uni-
stuttgart.de;

Dipl.-Ing. E. Mandir,
eileen.mandir@isv.uni-
stuttgart.de;

Dipl.-Ing. J. Pillat, juliane.pil-
lat@isv.uni-stuttgart.de,

Universität Stuttgart, Lehr-
stuhl für Verkehrsplanung
und Verkehrsleittechnik,

Pfaffenwaldring 7,
70569 Stuttgart;

PD Dr.-Ing. habil. C. Schiller,
schiller@tvp-dresden.de;

Dipl.-Ing. F. Zimmermann,
frank.zimmermann@tu-
dresden.de,

Technische Universität Dres-
den, Fakultät „Friedrich List“,

Professur Straßenverkehrs-
technik, Professur Straßen-
verkehrstechnik, Fachbereich

Theorie der Verkehrsplanung,
Hettnerstr. 3, 01062 Dresden;

Dipl.-Ing. I. Bakircioglu,
immet.bakircioglu@abdsb.

bayern.de;

Dipl.-Ing. S. Riess,
stefan.riess@abdsb.bayern.de,

Autobahndirektion Süd-
bayern, Zentralstelle für Ver-
kehrsmanagement in Bayern,

Winzererstr. 43, Gebäude D,
80797 München;

Dr. rer. nat. H. Belzner,
heidrun.belzner@bmw.de;

Dr.-Ing. I. Koller-Matschke,
irina.kollermatschke@bmw.de,

BMW Group, Traffic Techno-
logy and Traffic Management,
80788 München;

Dr. rer. nat. M. Sneathlage,
PTV AG, Stumpfstr. 1,

76131 Karlsruhe,

martin.sneathlage@ptv.de;

Dr.-Ing. C. Winkler, Deutsches
Zentrum für Luft- und

Raumfahrt e.V., Institut für
Verkehrsforschung, Ruther-
fordstr. 2, 12489 Berlin,

christian.winkler@dlr.de

Wirkungen individueller und kollektiver Verkehrsinformation in Straßennetzen – Teil 2: Analysen und Ergebnisse

Fritz Busch, Markus Friedrich, Christian Schiller, Immet Bakircioglu, Heidrun Belzner, Iris Fiedler, Irina Koller-Matschke, Eileen Mandir, Juliane Pillat, Stefanie Riess, Martin Sneathlage, Christian Winkler und Frank Zimmermann

Zur Steigerung vorhandener Leistungsfähigkeit der Verkehrsinfrastrukturen und Nutzung bestehender Leistungsreserven wird Verkehrsinformationen eine hohe Bedeutung beigemessen. Jedoch existieren über die Wirksamkeit und die Potenziale einzelner Verkehrsbeeinflussungssysteme heute nur teilweise belastbare Erkenntnisse. Hier setzt das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderte Forschungsprojekt wiki an. Das Projekt wiki (Wirkungen von individueller und kollektiver ontrip Verkehrsbeeinflussung auf den Verkehr in Ballungsräumen) analysiert das Routen- und Abfahrtszeitwahlverhalten von fast 300 Berufspendlern im Raum München über einen Zeitraum von 8 Wochen anhand von GPS-Daten, Befragungen, Stated Preference Experimenten und eines Fahrsimulatorexperiments. Die Ergebnisse der empirischen Untersuchung liefern Aufschluss über einzelne Einflussgrößen in Routen- und Abfahrtszeitwahl, die Wirksamkeit und Befolgungsgrade einzelner Informationsmedien sowie die Potenziale zur Reduktion des Verkehrszeitaufwands im Ballungsraum München. Der 1. Teil der zweiteiligen Veröffentlichung enthält die Beschreibung der grundlegenden Problemstellung und der im Rahmen des Projekts verwendeten Erhebungsmethodik. Der 2. Teil stellt die auf Basis der empirischen Untersuchungen ermittelten Modelle vor, quantifiziert die Potenziale von Verkehrsinformationssystemen im Ballungsraum München und diskutiert die Ergebnisse und deren Umsetzung in der Praxis.

Intelligent traffic management is considered of high importance to increase the performance of the existing transport infrastructure and to utilize unused network capacities. However, the true effects and potentials of single traffic control systems are still unknown today. These are the core issues of the project wiki, which was subsidized and supported by the German Federal Ministry of Economics and Technology (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, BMWi). The project wiki analyses route and departure time choice behaviour of almost 300 commuters in the Munich area over a period of 8 weeks on the basis of GPS data, questionnaires and Stated Preference data. The results shed light on the variables influencing route and departure time choice, the effectiveness of and compliance to different traffic information devices as well as their potential to reduce the transport time expenditure in the Munich region. The first part of the two-part publication contains the fundamental problem statement and the description of the survey methods applied in this project. The second part presents the models derived from the empirical data, quantifies potentials of traffic information systems in the Munich metropolitan area and discusses the results and their implications for practice.

Mit diesem Teil 2 wird der Beitrag abgeschlossen, dessen Teil 1 im Heft 10/2012 dieser Zeitschrift erschienen ist.

3 Analyse der Routen- und Abfahrtszeitwahl

Wahlmodelle dienen der Abbildung von

Wahlentscheidungen und damit der Nachbildung des Entscheidungsverhaltens der Verkehrsteilnehmer. Grundlage dafür bilden die Erhebungsdaten mit beobachteten und geäußerten Entscheidungen der Probanden. Auf Grundlage dieser Entscheidungen, die in Abhängigkeit verschiedener Einflussgrößen erfolgten, kann auf die Präferen-

zen bzgl. der Einflussgrößen geschlossen werden.

3.1 Schätzung der Routenwahlparameter

3.1.1 Schätzung auf Basis der Stated Preference Daten

Zur Quantifizierung des Einflusses einzelner Informationsmedien auf die Routen-

Tabelle 4: Nutzenfunktionen für die Routenwahl auf Basis der SP-Daten

Nr.	Nutzenfunktion			
1	$V_i = \beta_{TH} \cdot TH_i + \beta_H \cdot H_i + \beta_{EF} \cdot EF_i + \beta_{LOS1} \cdot LOS1_i + \beta_{LOS2} \cdot LOS2_i + \beta_{LOS3} \cdot LOS3_i$			
2	$V_i = \beta_{TH} \cdot TH_i + \beta_H \cdot H_i + \beta_{EF} \cdot EF_i + \beta_L \cdot L_i + \beta_{RSTO} \cdot RSTO_i + \beta_{RSTA} \cdot RSTA_i$			
3	$V_i = \beta_{TH} \cdot TH_i + \beta_H \cdot H_i + \beta_U \cdot U_i + \beta_{DSTA} \cdot DSTA_i + \beta_{WWW} \cdot WWW_i$			
4	$V_i = \beta_{TH} \cdot TH_i + \beta_H \cdot H_i + \beta_{EF} \cdot EF_i + \beta_{DT} \cdot DT_i$			
TH: historische Reisezeit	[min]	LOS1: Länge Level-of-Service 1 (grün), freier Verkehr		[km]
H: Haupttroutenkonstante	[-]	LOS2: Länge Level-of-Service 2 (gelb), stockender Verkehr		[km]
EF: Eigenständigkeitsfaktor	[-]	LOS3: Länge Level-of-Service 3 (rot), Stau		[km]
L: Routenlänge	[km]	RSTO: Radiomeldung der Länge stockenden Verkehrs		[km]
U: Umwegfaktor	[-]	RSTA: Radiomeldung der Länge Stau		[km]
		DSTA: Meldung der Länge Stau über dWiSta-Tafel		[km]
		WWW: Empfehlung einer Route über dWiSta-Tafel		[-]
		DT: Berechnete Zeitdifferenz aus Anzeige der dIRA-Tafel		[min]

Tabelle 5: Parameter der Nutzenfunktionen der Routenwahl auf Basis der SP-Daten

Variable	Einheit	Parameter	Parameterwerte Medium			
			1	2	3	4
TH	min	β_{TH}	-0,70	-0,16	-0,26	-0,21
H	-	β_H	1,52	0,73	1,07	1,25
EF	-	β_{EF}	3,64	5,55		3,61
L	km	β_L		-0,14		
U	-	β_U			-1,49	
LOS1	km	β_{LOS1}	-0,07			
LOS2	km	β_{LOS2}	-0,41			
LOS3	km	β_{LOS3}	-0,77			
RSTA	km	β_{RSTA}		-0,28		
RSTO	km	β_{RSTO}		-0,13		
DSTA	km	β_{DSTA}			-0,58	
WWW	-	β_{WWW}			0,46	
DT	min	β_{DT}				-0,14

alle Parameter sind auf 95 %-Niveau signifikant (hoch signifikant)

Tabelle 6: Tauschwerte zwischen Abfahrtszeitverschiebung und Zeiteinsparung

Variable	Parameter	Tauschwerte		
		Modellwerte aus Schätzung SP-Daten	Befragung vor Fahrsimulatorfahrt	Befragung nach Fahrsimulatorfahrt
LOS2/LOS1	$\beta_{LOS2}/\beta_{LOS1}$	5,8	2,3	1,7
LOS3/LOS2	$\beta_{LOS3}/\beta_{LOS2}$	1,9	1,6	1,7

wahl erfolgte zunächst die Auswertung der SP-Experimente auf Basis des multinomialen Logit-Modells, siehe Mc Fadden, (1973):

$$P_{gi} = \frac{e^{V_{gi}}}{\sum_{j \in J} e^{V_{gj}}}$$

$$V_{gi} = \sum_n \beta_n \cdot X_{gin}$$

- mit:
- P_{gi} Wahrscheinlichkeit, dass Person g Alternative i wählt
 - V_{ni} Deterministischer Nutzen, den Person g durch Wahl der Alternative i erzielt
 - X_{gin} Einflussgröße n auf Person g für Alternative i
 - β_n Parameter der Einflussgröße n
 - i, j Index für Alternative
 - J Anzahl an Alternativen.

Die individuellen Präferenzen werden modelltheoretisch durch die Parameter innerhalb der Nutzenfunktion V_{ni} berücksichtigt. Die Ermittlung der Parameter erfolgt mittels einer Log-Likelihood-Schätzung, (Cowan, 2003).

Unter Beachtung der verschiedenen Einflussgrößen und des jeweils verfügbaren Informationsmediums wurden vier Nutzenfunktionen formuliert, um das Entscheidungsverhalten der Probanden bestmöglich abzubilden. Die einzelnen geschätzten Modelle umfassen die jeweiligen Entscheidungssituationen der SP-Experimente, für die das jeweilige Informationsmedium (Nr. 1: Verkehrslagedarstellung, Nr. 2: Verkehrsfunk, Nr. 3: dWiSta-Tafel, Nr. 4:

dIRA-Tafel) verfügbar war.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde eine Vielzahl unterschiedlicher Hypothesen in Form verschiedener Einflussgrößen und Zusammenhänge getestet. Die robustesten Ergebnisse liefern Modelle mit linearen Nutzenfunktionen. Nichtlineare Zusammenhänge lieferten keine signifikanten Verbesserungen der Modellgüte. Die Tabelle 4 zeigt die geeignetsten Nutzenfunktionen zur Abbildung des Entscheidungsverhaltens der Probanden. Die ermittelten Parameterwerte sind in Tabelle 5 aufgelistet und geben das Gewicht der Einflussgrößen am Gesamtnutzen einer Alternative an. Zu beachten sind dabei die Einheiten der Variablen, siehe Tabelle 4. So liefert im Modell des Mediums 1 (Verkehrslagedarstellung) beispielsweise die historische Reisezeit TH einen negativen Nutzenbeitrag von 0,7 je Minute. Die historische Reisezeit entspricht der üblichen Fahrzeit im Netz, ohne zusätzliche Störung, jedoch mit den üblichen, täglichen Verkehrsstörungen¹. Alle Modellparameter zeigen plausible Vorzeichen. Im Folgenden werden die einzelnen Funktionen je Medium kurz diskutiert. Die entsprechenden Nutzenfunktionen sind in Tabelle 4 enthalten.

Medium 1 – Verkehrslagedarstellung

Die historische Reisezeit ist mit einem Faktor von -0,7 deutlich negativ behaftet. Da Reisezeiten einen Aufwand zur Raumüberwindung darstellen, ist ein negativer Einfluss plausibel.

Die Level-of-Service-Längen gehen ebenfalls alle negativ in die Funktion ein und liefern somit einen negativen Nutzenbeitrag. Die Probanden bewerten im Detail die angezeigte Länge LOS3 (Stau) 1,9-mal negativer als die Länge LOS2 (stockender Verkehr) und diese wiederum 5,8-mal schlechter als die Länge LOS1 (freier Verkehrsfluss). Dieses Verhalten ist nachvollziehbar, da ein höherer Level-of-Service mit einer höheren Reisezeit einhergeht. Dass auch der Level-of-Service 1 einen negativen Einfluss besitzt, kann damit begründet werden, dass auch dieser Information eine Länge zugrunde liegt und eine Länge per se einen Aufwand darstellt. Zum Vergleich mit den Ergebnissen des Fahrsimulatorversuchs sind die Verhältnisse der Präferenzparameter zwischen

¹ Die aktuelle Reisezeit als (eigentliches) Wahlkriterium setzt sich immer aus der historischen Reisezeit und den durch die Informationsmedien übermittelten Verlustzeiten zusammen.

LOS2 und LOS1 und zwischen LOS3 und LOS2 in Tabelle 6 dargestellt. Beide Untersuchungen belegen eine größere Unterscheidung zwischen grünem LOS (freier Verkehr) und gelbem LOS (stockender Verkehr) als zwischen gelbem LOS und rotem LOS (Stau).

Durch die Haupttroutenkonstante wird eine grundsätzliche Präferenz infolge einer Gewohnheit für die Hauptroute der Probanden beachtet. Die Konstante stellt somit eine Trägheitsvariable dar. Zwar sind die Experimente so aufgebaut, dass die Hauptroute niemals die optimale Route in einer Entscheidungssituation darstellt, es ist aber davon auszugehen, dass die Probanden eine gewohnheitsmäßige Neigung zu dieser Route aufweisen. Diese Vermutung wurde auch durch die Modellschätzung bestätigt. Die Konstante geht mit einem Wert von +1,52 deutlich positiv in den Gesamtnutzen ein.

Eine weitere signifikante Größe stellt der Eigenständigkeitsfaktor der Routen dar. Je höher der Eigenständigkeitsfaktor, desto unabhängiger ist die betrachtete Route. Die Eigenständigkeit ist gegenüber den alternativen Routen ein positives Merkmal einer Route und geht daher als zusätzlicher Nutzen in die Funktion ein. Die Eigenständigkeitsfaktoren der vier betrachteten Routen liegen zwischen 0,54 und 0,77.

Medium 2 – Verkehrsfunk

Auch in diesem Modell gehen die historischen Reisezeiten negativ in die Funktion ein. Weiterhin wirkt die Routenlänge als Aufwandsgröße ebenfalls nutzenreduzierend. Sowohl die Haupttroutenkonstante als auch die Routeneigenständigkeit wirken positiv. Der Einfluss des Informationsmediums Verkehrsfunk wird über die Staumeldungen und die Meldungen des stockenden Verkehrs beachtet. Beide besitzen, da sie der Information über einen zusätzlichen Aufwand entsprechen, ein negatives Vorzeichen. Da ein Stau i. d. R. mit einem höheren Zeitverlust verbunden ist als stockender Verkehr, ist der betragsmäßig höhere Wert bzgl. des Staus plausibel. Die gemeldete Staulänge wirkt dabei etwa doppelt so negativ wie die Länge des stockenden Verkehrs.

Medium 3 – dWiSta-Tafel

Wiederum fließen in dieses Modell die historische Reisezeit negativ und die Haupttroutenkonstante positiv ein. Darüber hinaus berücksichtigt das Modell einen

Umwegfaktor gegenüber der Luftlinie, wodurch jede Route einen Umwegfaktor größer Eins besitzt. Da damit ein Aufwand verbunden ist, besitzt diese Größe ein negatives Vorzeichen. Die medienspezifischen Informationen stellen die auf der dWiSta-Tafel angezeigte Staulänge und die angezeigte Routenempfehlung. Die Staulänge wird als Aufwand deutlich negativ bewertet. Hingegen wirkt die Routenempfehlung positiv auf die Entscheidung und weist einen, wenn auch geringen, quantifizierbaren Einfluss aus.

Medium 4 – dIRA-Tafel

Als wichtigste Einflussvariable ist auch in diesem Modell die historische Reisezeit enthalten. Wie zu erwarten, ist das Vorzeichen negativ. Ebenfalls geht wiederum die Haupttroutenkonstante positiv gewichtet in die Nutzenfunktion ein. Zusätzlich weist der Eigenständigkeitsfaktor einen deutlich positiven Einfluss auf den Gesamtnutzen auf. Zur Abbildung des Einflusses der mittels der Reisezeit-Tafeln angegebenen Reisezeiten wurde eine Reisezeitdifferenz zwischen den abschnittswisen historischen Reisezeiten und den angegebenen Reisezeiten bestimmt und in der Nutzenfunktion berücksichtigt. Durch die Differenzbildung wird beachtet, dass die Probanden die angegebene Information stets im Zusammenhang zur eigenen Erfahrung bzgl. der notwendigen Zeit des Abschnitts betrachten. Da die angegebenen Zeiten immer höhere Werte sind als die historischen Zeiten, bewerten die Probanden die Zeitänderung negativ.

3.1.2 Schätzung auf Basis der Revealed Preference Daten

Neben der Analyse des Routenwahlverhaltens auf Basis der SP-Daten wurden Wahlmodelle auf Grundlage der RP-Daten der GPS-Erhebung geschätzt. Der Fokus lag bei dieser Untersuchung allerdings auf der kombinierten Wirkung mehrerer Informationsmedien. Während der Erhebungsphase kamen die Probanden mit folgenden Verkehrsinformationsmedien in Kontakt,

deren Nutzung über den gesamten Zeitraum dokumentiert wurde:

- Verkehrsfunk über Radio (Radio),
- Level-of-Service-Darstellung über Navigationsgerät (LOS),
- Routenempfehlung von Wechselwegweisungen (WWW),
- Routenempfehlung durch das Navigationsgerät (Navi).

Wenn nur ein Informationsmedium genutzt wurde, war dies in der Regel das Radio. Häufig wurde das Radio jedoch ergänzend mit anderen Informationsmedien wie Wechselwegweisung oder Navigationsgerät bzw. LOS genutzt.

Nachfolgend werden die wichtigsten Nutzenfunktionen für Entscheidungssituationen bei der gleichzeitigen Nutzung mehrerer Informationsmedien vorgestellt. Für folgende Kombinationen von Informationsmedien konnten Nutzenfunktionen geschätzt werden, da für diese eine ausreichend große Stichprobe an beobachteten Entscheidungssituationen zur Verfügung stand:

1. LOS und Radio,
2. Radio und Wechselwegweisung,
3. LOS, Radio und Wechselwegweisung,
4. Radio, Wechselwegweisung und Navigation.

Die Tabellen 7 bis 10 zeigen die geeignetsten Nutzenfunktionen zur Abbildung des Entscheidungsverhaltens der Probanden unter Einfluss mehrerer Informationsmedien. Die ermittelten Parameterwerte sind in Tabelle 11 aufgelistet.

Im Folgenden werden die einzelnen Funktionen je Medium kurz diskutiert. Die entsprechenden Nutzenfunktionen sind in den Tabelle 7 bis 10 enthalten.

LOS und Radio

In diesem Modell geht die historische Reisezeit negativ in die Funktion ein, ist aber schwach signifikant; dagegen sind die statischen Längen hochsignifikant. Die Routenlänge insgesamt geht negativ ein und wirkt damit nutzenreduzierend. Entgegen dazu sind die Autobahn- und Außerortsstrecken nutzensteigernd. Die gemeldeten



Tabelle 7: Nutzenfunktion der Routenwahl für Informationsmedien LOS und Radio auf Basis der RP-Daten

Nr. 1: LOS, Radio $V_i = \beta_{TH} \cdot TH_i + \beta_L \cdot L_i + \beta_{BAB} \cdot BAB_i + \beta_{AHS} \cdot AHS_i + \beta_Z \cdot Z_i + \dots + \beta_{LOS2} \cdot LOS2_i + \beta_{LOS3} \cdot LOS3_i + \beta_{RSTO} \cdot RSTO_i + \beta_{RSTA} \cdot RSTA_i$			
TH: historische Reisezeit	[min]	LOS2: Länge Level-of-Service 2 (gelb), stockender Verkehr	[km]
L: Routenlänge	[km]	LOS3: Länge Level-of-Service 3 (rot), Stau	[km]
BAB: Länge Autobahn	[km]	RSTO: Radiomeldung der Länge stockenden Verkehrs	[km]
AHS: Länge Außerortsstraßen	[km]	RSTA: Radiomeldung der Länge Stau	[km]
Z: Zuverlässigkeit der Reisezeit *	[-]	*Quotient des 15 %-Perzentils und 95 %-Perzentils der gemessenen Reisezeiten entlang der Route	

Tabelle 8: Nutzenfunktion der Routenwahl für Informationsmedien Radio und Wechselwegweisung auf Basis der RP-Daten

Nr. 2: Radio, WWW $V_i = \beta_{TH} \cdot TH_i + \beta_{RSTO} \cdot RSTO_i + \beta_{RSTA} \cdot RSTA_i + \beta_{WWW} \cdot WWW_i$			
TH: historische Reisezeit	[min]	RSTO: Radiomeldung der Länge stockenden Verkehrs	[km]
		RSTA: Radiomeldung der Länge Stau	[km]
		WWW: 1 falls Route von Wechselwegweisung empfohlen, 0 sonst	[-]

Tabelle 9: Nutzenfunktion der Routenwahl für Informationsmedien LOS, Radio und Wechselwegweisung auf Basis der RP-Daten

Nr. 3: LOS, Radio, WWW $V_i = \beta_{TH} \cdot TH_i + \beta_{LOS1} \cdot LOS1_i + \beta_{LOS2} \cdot LOS2_i + \beta_{LOS3} \cdot LOS3_i + \dots + \beta_{RSTO} \cdot RSTO_i + \beta_{RSTA} \cdot RSTA_i + \beta_{WWW} \cdot WWW_i$			
TH: historische Reisezeit	[min]	LOS1: Länge Level-of-Service 1 (grün), freier Verkehr	[km]
		LOS2: Länge Level-of-Service 2 (gelb), stockender Verkehr	[km]
		LOS3: Länge Level-of-Service 3 (rot), Stau	[km]
		RSTO: Radiomeldung der Länge stockenden Verkehrs	[km]
		RSTA: Radiomeldung der Länge Stau	[km]
		WWW: 1 falls Route von Wechselwegweisung empfohlen, 0 sonst	[-]

Tabelle 10: Nutzenfunktion der Routenwahl für Informationsmedien Radio, Wechselwegweisung und Navigation auf Basis der RP-Daten

Nr. 4: Radio, WWW, Navi $V_i = \beta_{TH} \cdot TH_i + \beta_L \cdot L_i + \beta_{BAB} \cdot BAB_i + \beta_{AHS} \cdot AHS_i + \dots + \beta_{RSTO} \cdot RSTO_i + \beta_{RSTA} \cdot RSTA_i + \beta_{WWW} \cdot WWW_i + \beta_{Navi} \cdot Navi_i$			
TH: historische Reisezeit	[min]	RSTO: Radiomeldung der Länge stockenden Verkehrs	[km]
L: Routenlänge	[km]	RSTA: Radiomeldung der Länge Stau	[km]
BAB: Länge Autobahn	[km]	WWW: 1 falls Route von Wechselwegweisung empfohlen, 0 sonst	[-]
AHS: Länge Außerortsstraßen	[km]	Navi: 1 falls Route von Navigation empfohlen, 0 sonst	[-]

Tabelle 11: Parameter der Nutzenfunktionen der Routenwahl auf Basis der RP-Daten

Variable	Einheit	Parameter	Parameterwerte Medienkombination			
			1	2	3	4
TH	min	β_{TH}	-0,00025 ³	-0,01040 ¹	-0,00912 ¹	-0,00097 ²
L	km	β_L	-0,00043 ¹			-0,00057 ¹
BAB	km	β_{BAB}	+0,00007 ¹			0,00028 ¹
AHS	km	β_{AHS}	+0,00016 ¹			0,00021 ¹
Z	-	β_Z	-0,62200 ²			
LOS1	km	β_{LOS1}			-0,00016 ¹	
LOS2	km	β_{LOS2}	-0,00030 ¹		-0,00016 ¹	
LOS3	km	β_{LOS3}	-0,00050 ¹		-0,00011 ¹	
RSTO	km	β_{RSTO}	-0,00021 ¹	-0,00015 ¹	-0,00002 ³	-0,00029 ¹
RSTA	km	β_{RSTA}	-0,00040 ³	-0,00054 ¹	-0,00006 ³	-0,00055 ¹
WWW	-	β_{WWW}		1,09000 ¹	0,87800 ¹	1,02000 ¹
Navi	-	β_{Navi}				4,51000 ¹

¹ Parameter ist auf 95 %-Niveau signifikant (hoch signifikant)

² Parameter ist auf 90 %-Niveau signifikant (signifikant)

³ Parameter ist schwach signifikant

bzw. angezeigten Längen von Stau und stockendem Verkehr reduzieren den Nutzen einer Route. Stau wirkt dabei stärker als stockender Verkehr und LOS stärker als Radio.

Radio und WWW

Als wichtigste Einflussvariable ist auch in diesem Modell die historische Reisezeit enthalten. Sie geht negativ in die Funktion ein und wirkt damit nutzenmindernd. Wechselwegweisung und gemeldete Längen von Stau und stockendem Verkehr ergänzen sich, wobei die gemeldeten Störungen den Nutzen reduzieren und die empfohlene Wegweisung den Nutzen erhöht. Alle Einflussgrößen sind hoch signifikant.

LOS, Radio und WWW

Wie bei den beiden vorigen Modellen geht die historische Reisezeit wiederum negativ in die Nutzenfunktion ein. Die gemeldeten und angezeigten Längen Stau und stockender Verkehr wirken nutzenverringern. Auch die LOS-Anzeige freier Verkehrsfluss wirkt als Aufwand nutzenverringern. Die gemeldeten Staulängen und Längen des stockenden Verkehrs wirken entsprechend ihrem negativen Vorzeichen ebenfalls nutzenverringern. Allerdings sind diese Größen im Modell nicht mehr signifikant. Die Wechselwegweisung dagegen wirkt nutzensteigernd und ist im Modell hoch signifikant. Hier ergänzen sich LOS und Wechselwegweisung, wohingegen die Radioansagen weniger berücksichtigt werden.

Radio, WWW und Navi

In diesem Modell geht die historische Reisezeit negativ in die Funktion ein, ist aber kaum signifikant. Dagegen sind die statischen Längen hochsignifikant. Die Routenlänge insgesamt geht negativ ein und wirkt damit nutzenreduzierend. Dagegen sind die Autobahn- und Außerortsstrecken nutzensteigernd, wobei sich Autobahnstrecken stärker auswirken. Die gemeldeten Längen von Stau und stockendem Verkehr reduzieren den Nutzen einer Route. Stau wirkt dabei stärker als stockender Verkehr. Die Wechselwegweisung wirkt ebenso wie eine Routenempfehlung im Navigationsgerät nutzensteigernd. Beide Informationsmedien sind im Modell signifikant. Die Wirkung des Navigationsgerätes ist allerdings stärker als die der Wechselwegweisung.

3.2 Schätzung der Abfahrtszeitwahlparameter

Zur Analyse der Einflussgrößen der Abfahrtszeitwahl wurden Wahlmodelle auf Basis der SP-Experimente geschätzt. Es gibt dabei generell zwei Alternativen:

- Alternative 0: Die Abfahrtszeit wird nicht verändert.
- Alternative 1: Die Abfahrtszeit wird unter den gegebenen Rahmenbedingungen verändert.

Den Probanden standen somit nur zwei Alternativen zur Wahl. Alternative 0 stellt die ursprüngliche Situation dar, Alternative 1 wird durch die Abfahrtszeitverschiebung und Zeitersparnis gegenüber Alternative 0 charakterisiert. Es ist davon auszugehen, dass beim Status quo die gewählte Abfahrtszeit den maximalen Nutzen für die Verkehrsteilnehmer liefert. Ein zusätzlicher Nutzen der Alternative 1 besteht dann in der Zeitersparnis, während ein negativer Effekt durch die dafür notwendige Abfahrtszeitverschiebung resultiert. Das Maß für die Verschiebung der Abfahrtszeit ist die Abfahrtszeitdifferenz. Je größer die Abfahrtszeitdifferenz, desto geringer der Nutzen. Daraus folgt für den dazugehörigen Präferenzparameter β ein zu erwartendes negatives Vorzeichen. Zusätzlich wurde geprüft, ob und wie stark sich frühere und spätere Abfahrtszeitpunkte hinsichtlich der Bereitschaft, die Abfahrtszeit zu verschieben, unterscheiden.

Für die Nutzenfunktion der Wahlmodelle gibt es damit drei Attribute, welche der Entscheidung zur Änderung der Abfahrtszeit zugrunde gelegt werden:

- die Zeit, um welche die Abfahrtszeit verschoben werden soll,
- die damit verbundene Einsparung an Reisezeit und
- die Zuverlässigkeit, mit der diese Reisezeitverringerung tatsächlich eintritt.

Es wurden analog zur Routenwahl auch für die Abfahrtszeitwahl zahlreiche unterschiedliche Modellansätze getestet. Wiederum lieferten die linearen Modellformulierungen die besten Ergebnisse. Da bei Personen mit fester und flexibler Arbeitszeit von einem signifikanten Unterschied hinsichtlich der Änderungsbereitschaft auszugehen war, wurden für beide Personengruppen unterschiedliche Modelle geschätzt. Der beste Funktionsansatz unterscheidet sich nicht für die beiden Gruppen (Tabelle 12). Die geschätzten Modellparameter sind in Tabelle 13 zusammenge-

Tabelle 12: Nutzenfunktionen für die Abfahrtszeitwahl auf Basis der SP-Daten

Nutzenfunktion	
$V_i = \beta_{AZVP} \cdot AZVP_i + \beta_{AZVN} \cdot AZVN_i + \beta_{RZE} \cdot RZE_i + \beta_{ZUV} \cdot ZUV_i$	
AZVP: positive Abfahrtszeitverschiebung (spätere Abfahrtszeit)	[min]
AZVN: negative Abfahrtszeitverschiebung (frühere Abfahrtszeit)	[min]
RZE: Reisezeitersparnis bei Abfahrtszeitwechsel	[min]
ZUV: Zuverlässigkeit der Zeiteinsparung	[%]

Tabelle 13: Parameter der Nutzenfunktionen der Abfahrtszeitwahl auf Basis der SP-Daten

Variable	Einheit	Parameter	Personen mit fester Arbeitszeit	Personen mit flexibler Arbeitszeit
AZVP	min	β_{AZVP}	-0,041 ¹	-0,031 ¹
AZVM	min	β_{AZVN}	-0,051 ¹	-0,044 ¹
RZE	min	β_{RZE}	0,067 ¹	0,078 ¹
ZUV	%	β_{ZUV}	0,008 ³	0,001 ³

¹ Parameter sind auf 95 %-Niveau signifikant (hoch signifikant)

² Parameter ist auf 90 %-Niveau signifikant (signifikant)

³ Parameter ist schwach signifikant

Tabelle 14: Tauschwerte zwischen Abfahrtszeitverschiebung und Zeiteinsparung

Variable	Parameter	Tauschwerte	
		Personen mit fester Arbeitszeit	Personen mit flexibler Arbeitszeit
AZVP/RZE	β_{AZVP}/β_{RZE}	-0,61	-0,40
AZVN/RZE	β_{AZVN}/β_{RZE}	-0,76	-0,56

stellt. Auch hier sind wieder die Einheiten der Variablen zu beachten.

Alle Parameter weisen plausible Vorzeichen auf. So war zu erwarten, dass eine Zeiteinsparung einen positiven und die Abfahrtszeitverschiebung einen negativen Nutzenbeitrag liefert. Ob die Abfahrtszeit zur Erzielung der Zeitersparnis früher oder später erfolgt, hat keinen Einfluss auf das Vorzeichen der Parameter, und die Abfahrtszeitverschiebung geht jeweils negativ in die Nutzenfunktion ein. Das bedeutet, je größer die Abfahrtszeitverschiebung, desto geringer ist die Bereitschaft zum Wechseln der Abfahrtszeit.

Aus dem höheren Betrag des Parameters der früheren Abfahrtszeit (AZVM) gegenüber der späteren Abfahrtszeit (AZVP) geht hervor, dass die Probanden es eher akzeptieren, später als früher loszufahren. Dies kann auch damit begründet werden, dass man bei späterer Abfahrtszeit und einer damit verbundenen Zeiteinsparung in etwa zur gleichen Zeit am Ziel ankommt. Liegt die Abfahrtszeit früher und kommt dazu noch eine Zeiteinsparung, so entfernt man sich immer weiter vom ursprünglichen Eintreffenszeitpunkt am Ziel.

Der Nutzenbeitrag der Zeiteinsparung ist deutlich positiv. Damit steigt die Bereitschaft, die Abfahrtszeit zu verschieben, mit zunehmender Zeiteinsparung. Die Zuver-

lässigkeit der avisierten Zeiteinsparung geht ebenfalls positiv in die Nutzenfunktion ein. Dies deutet darauf hin, dass eine höhere Zuverlässigkeit die Bereitschaft zum Verschieben der Abfahrtszeit ebenfalls erhöht. Allerdings konnte für die Zuverlässigkeit nur ein sehr geringer Einfluss festgestellt werden.

Interessant ist auch die Betrachtung der Bereitschaft, eine Verschiebung der Abfahrtszeit für eine Zeiteinsparung anzunehmen. Dieser Ansatz ist so zu verstehen, dass die reduzierte Reisezeit gewissermaßen mit der veränderten Abfahrtszeit „zu bezahlen“ ist. Diese Tauschwerte ergeben sich durch die Verhältnisse der Präferenzparameter (Tabelle 14).

Die Tauschwerte ergeben beispielsweise für den Fall der späteren Abfahrtszeit für Personen mit fester Arbeitszeit (AZVP/ZE = -0,61), dass für eine Abfahrtszeitverschiebung von 10 Minuten eine Reduzierung der Reisezeit um wenigstens 6,1 Minuten notwendig ist. Demgegenüber werden für den gleichen Fall sogar 7,6 Minuten Zeiteinsparung notwendig, falls eine zehninütige frühere Abfahrt erforderlich ist. Personen mit flexibler Arbeitszeit haben einen betragsmäßig geringeren Tauschwert und akzeptieren die Abfahrtszeitänderung bereits bei geringeren Zeiteinsparungen.

4 Potenziale im Ballungsraum München

4.1 Aufgabe von Verkehrsinformation

Um die Potenziale von Verkehrsinformation zu evaluieren, müssen die Mängel der Verkehrsnetze näher beleuchtet werden. Zum einen entstehen Staus und Störungen des Verkehrsablaufs durch Überlastung der Straßen aufgrund zu hoher Verkehrsnachfrage. Zum anderen reduzieren Baustellen und Unfälle die bestehenden

Kapazitäten und führen zu Staus und Störungen.

Verkehrsinformation und -lenkung beeinflusst lediglich die zeitliche und räumliche Verteilung der Verkehrsnachfrage – im Sinne der Routen- und Abfahrtszeitwahl der Verkehrsteilnehmer – und kann somit zur Reduzierung von Störungen bedingt durch Überlastung beitragen.

Ein Störfallmanagement durch die örtlichen Betreiber beschleunigt die Räumung von Unfall- und Gefahrenstellen. Dies reduziert die verkehrlichen Beeinträchtigun-

gen durch Unfälle und erhöht die allgemeine Zuverlässigkeit des Straßennetzes.

Eine höhere Leistungsfähigkeit des Straßennetzes kann durch Angebotsmanagement in Form von temporärer Seitenstreifenfreigabe, dynamischen Tempolimits und Lkw-Überholverböten oder durch Ausbau der Infrastruktur erreicht werden. Im Münchener Autobahnnetz ereigneten sich Störungen in 0,8 % aller Stunden des Jahres 2009 basierend auf einer Auswertung von 160 Streckenabschnitten. Der Anteil der jährlichen Störungstunden liegt damit unter dem erklärten Ziel von 1 % der Gesamtstundenanzahl. Von den Störungen waren 7 % durch Baustellen, 9 % durch Unfälle und 84 % durch hohe Verkehrsnachfrage bedingt.

Bild 8: Routenwahl für unterschiedliche Informationsmedien aus 3.228 Entscheidungssituationen des Stated Preference Experiments

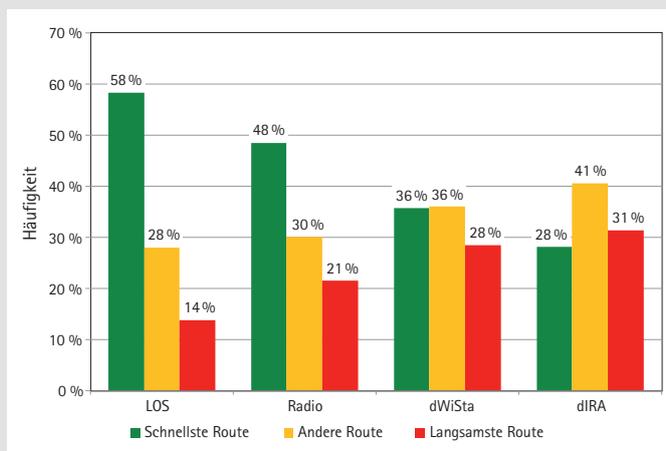


Bild 9: Befolgungsgrad in Abhängigkeit vom Informationsmedium

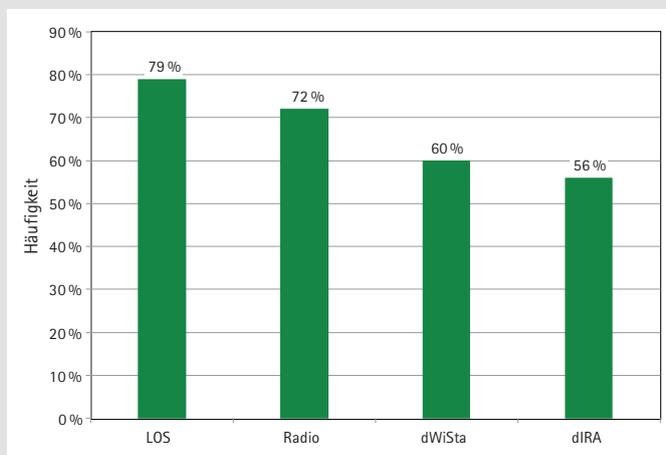
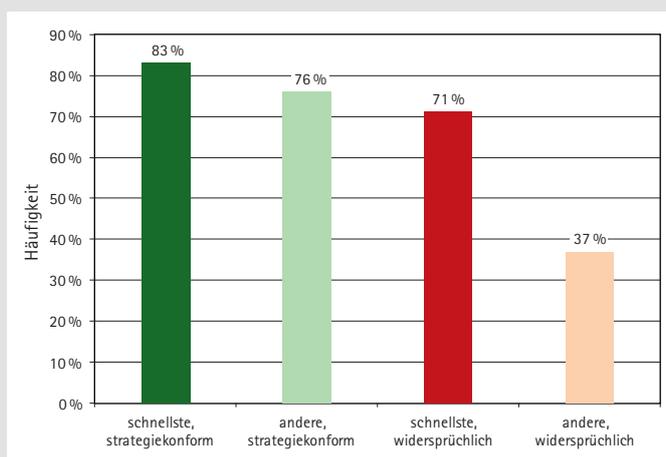


Bild 10: Befolgungsgrad für Routenempfehlung per Navigation und Wechselwegweisung



4.2 Wirkungsgrad einzelner Informationsmedien

Die Ergebnisse der Parameterschätzung verdeutlichen den Einfluss einzelner Informationsmedien bzw. deren kombinierten Einsatz auf die Routenwahl der Probanden. Besondere Bedeutung zur Beeinflussung der Routenwahl kommt demnach den Informationsmedien LOS und Verkehrsfunk zu, die den jeweils größten Beitrag zur Nutzenfunktion liefern.

Eine statistische Auswertung der Befragungsergebnisse des SP-Experiments zeigt zudem, dass einzelne Informationsmedien unterschiedlich gut geeignet sind, um routenbezogene Verkehrsinformation verständlich an den Fahrer zu übermitteln (Bild 8). Dargestellt ist die Häufigkeit, mit der die Probanden die schnellste, die langsamste oder eine andere der vier Routen wählen. Dabei kommt dem LOS und dem Verkehrsfunk ein deutlich höherer Stellenwert zu als straßenseitigen Informationstafeln. In den zwölf Entscheidungssituationen des SP-Experiments werden jedem Probanden drei verschiedene Verkehrszustände durch jeweils vier unterschiedliche Verkehrsinformationsmedien dargestellt. Am häufigsten, in 58 % der Fälle, wählen die Probanden die schnellste Route bei Darstellung des Verkehrszustands über eine Level-of-Service-Karte.

Die Verständlichkeit eines Informationsmediums beeinflusst weiterhin den Befolgungsgrad, wie Bild 9 verdeutlicht, ebenfalls basierend auf einer Analyse der situationsabhängigen Routenwahl in der SP-Befragung. Eine Reaktion auf einen geänderten Verkehrszustand erfolgt im Experiment dann, wenn die Probanden,

abweichend von ihrer üblichen Hauptroute, eine der drei Alternativrouten wählen. Der Befolungsgrad gibt an, in welchem Umfang die Probanden auf die Störungsinformation der einzelnen Verkehrszustände in Abhängigkeit des verwendeten Informationsmediums reagieren.

Es zeigt sich, dass die Probanden am ehesten reagieren, wenn ihnen die Störung über das Medium LOS mitgeteilt wird. Der geringste Befolungsgrad ist beim Informationsmedium dIRA-Tafel zu verzeichnen.

Das Potenzial von Verkehrsinformation im Kontext von intelligentem Verkehrsmanagement hängt eng zusammen mit dem Befolungsgrad der Routenempfehlungen durch die Autofahrer. Ein zentrales Thema stellt dabei heute das strategiekonforme Routing dar.

Die Parameterschätzung auf Basis der RP-Daten der GPS-Erhebung konnte nachweisen, dass die Kombination von Informationsmedien bei logischem und konsistentem Informationsgehalt den Einfluss eines Merkmals (z. B. Staulänge) auf die Routenwahl verstärken kann. Insbesondere LOS und Radio ergänzen sich. Dies wird an der Erhöhung des Einflusses auf die Nutzenfunktion deutlich.

Für viele Fahrten, auf denen die Probanden während der Erhebungsphase den Navigationsdienst nutzten, passierten sie zugleich eine Wechselwegweisung. Dies kann zu widersprüchlichen Empfehlungen durch das Navigationsgerät und die Wechselwegweisung führen. Eine statistische Auswertung der GPS-Daten zeigt, dass sich eine widersprüchliche Empfehlung deutlich negativer auswirkt als die Empfehlung einer nicht zeitoptimalen Route, (Bild 10). Der Befolungsgrad im Falle, dass beide Informationsmedien (Navi und WWW) dieselbe und zudem zeitschnellste Route empfehlen, liegt bei 83 %. Empfehlen beide Medien dieselbe, aber nicht zeitschnellste Route, sinkt dieser auf 76 %. Geben die beiden Medien widersprüchliche Routenempfehlungen; sinken die Befolungsgrade auf 71 % bzw. 37 %.

4.3 Potenziale von Verkehrsinformation zur Reduktion des Verkehrszeitaufwands

Zur Beurteilung des Potenzials von zeitlicher und räumlicher Verlagerung durch Verkehrsinformation ist der Vergleich eines optimalen Zustandes mit perfekter Information über die aktuelle Verkehrslage mit dem heutigen Zustand sinnvoll.

Eine Untersuchung der erhobenen GPS-

Daten zeigt, dass für jeden einzelnen Fahrer das Potenzial von räumlicher Verlagerung (Beeinflussung der Routenwahl) durch Verkehrsinformation durchschnittlich bei drei Minuten bzw. 9 % der Reisezeit liegt. In 10 % der Fahrten könnten die Fahrer sogar bis zu 75 % ihrer Reisezeit einsparen.

Das Potenzial von zeitlicher Verlagerung (Beeinflussung der Abfahrtszeitwahl) durch Verkehrsinformation hängt stark von der Flexibilität der einzelnen Fahrer ab. Unter der Annahme, ein Fahrer wäre bereit, seine Abfahrtszeit um maximal zehn Minuten zu verschieben, beträgt das Einsparpotenzial im Mittel 6 % der Reisezeit auf Basis der erhobenen GPS-Daten.

Um diese Potentialbetrachtung auf den gesamten Untersuchungsraum für das Fahrerkollektiv (Verkehrsnachfrage) zu übertragen, eignet sich die Betrachtung des Verkehrszeitaufwands in Fahrzeugstunden (Fzg-H). Diese ist globale Kenngröße zum Vergleich zweier Verkehrszustände in Bezug auf die Qualität des Verkehrsablaufs.

In Zeiten und Räumen hoher Verkehrsnachfrage kann durch die Verschiebung des Abfahrtszeitpunkts oder auch der räumlichen Verlagerung eines Teils der Verkehrsnachfrage auf eine andere Route die Leistungsfähigkeit des Verkehrssystems erhöht werden (Systemoptimum). Hierfür hat der einzelne Verkehrsteilnehmer jedoch hinzunehmen, dass er zugunsten des Systemoptimums z. B. über eine andere Route geleitet wird und unter Umständen eine längere Reisezeit in Kauf nehmen muss. Im besten Fall kann durch eine Verkehrsbeeinflussung ein Zustand erreicht werden, bei dem Nutzergleichgewicht und Systemoptimum nahezu deckungsgleich sind.

Im Folgenden soll für den gesamten Untersuchungsraum ermittelt werden, in welchem Umfang durch den Einsatz vorhandener Verkehrsbeeinflussungssysteme ein derartiger Zustand erreicht werden kann. Das Potenzial ist dabei als die Menge des Reisezeitaufwands definiert, die durch eine optimierte Routen- und Abfahrtszeitwahl reduziert werden kann.

Dazu werden für den Ballungsraum München vier Verkehrszustände vergleichend betrachtet:

– Unbeeinflusster Verkehr ohne Information (OI):

Verkehrszustand, der sich ergibt, wenn alle Verkehrsteilnehmer ohne Informationen, allein aufgrund ihrer Ortskenntnis ohne die Kenntnis der aktuellen Reisezeiten entscheiden. Dieses Fahrerverhalten wird im makroskopischen Verkehrsmodell mit einer stochastischen Umlegung, basierend auf den üblicherweise gewählten Routen, abgebildet. Die aktuelle belastungsabhängige Reisezeit ist den Fahrern weitestgehend unbekannt.

– Tatsächlich erreichter Zustand (EZ):

Der erreichte Zustand ist der Verkehrszustand, der während der Erhebung tatsächlich beobachtet wurde. Er entspricht der Referenzverkehrslage, die aus den Daten bestimmt wurde. Zugrunde liegt das empirisch validierte Routen- und Abfahrtszeitwahlverhalten der Fahrer, das ins Verkehrsmodell übernommen wird. Dabei beruht das Entscheidungsverhalten der Autofahrer auf einer subjektiven Wahrnehmung des Verkehrsangebots, implizitem Wissen aus Erfahrung und unvollständiger Information über die aktuelle Verkehrslage. Dieses Fahrerverhalten wird im Verkehrsmodell mit einer stochastischen Umlegung abgebildet und an der Referenzverkehrslage validiert. Bei einer stochastischen Umlegung werden für die Suche von Routenalternativen die Widerstände (oder Nutzen) der Netzelemente (Reisezeit, Länge etc.) ausgehend vom tatsächlichen Wert innerhalb gesetzter Grenzen zufällig variiert. Die Verteilung auf die Alternativrouten erfolgt nach dem geschätzten Routenwahlmodell in Abhängigkeit der Routenwiderstände.

– Theoretisches Optimum (TO):

Hier wird vorausgesetzt, dass das Routenwahlverhalten aller Fahrer, auch während der Fahrt, beeinflusst werden kann. Innerhalb gewisser Grenzen ist



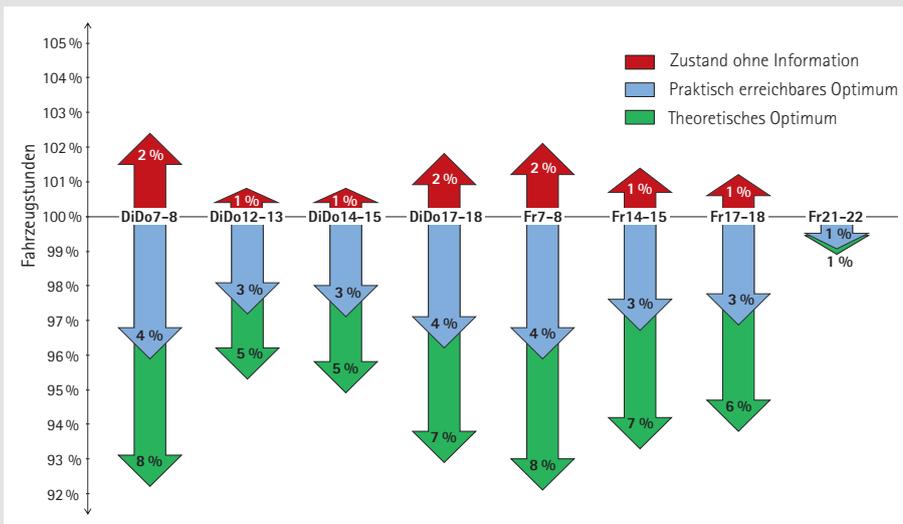


Bild 11: Wirkungen räumlicher Verlagerung der Verkehrsnachfrage als prozentuale Differenz der FzG-H bezogen auf den heutigen Zustand

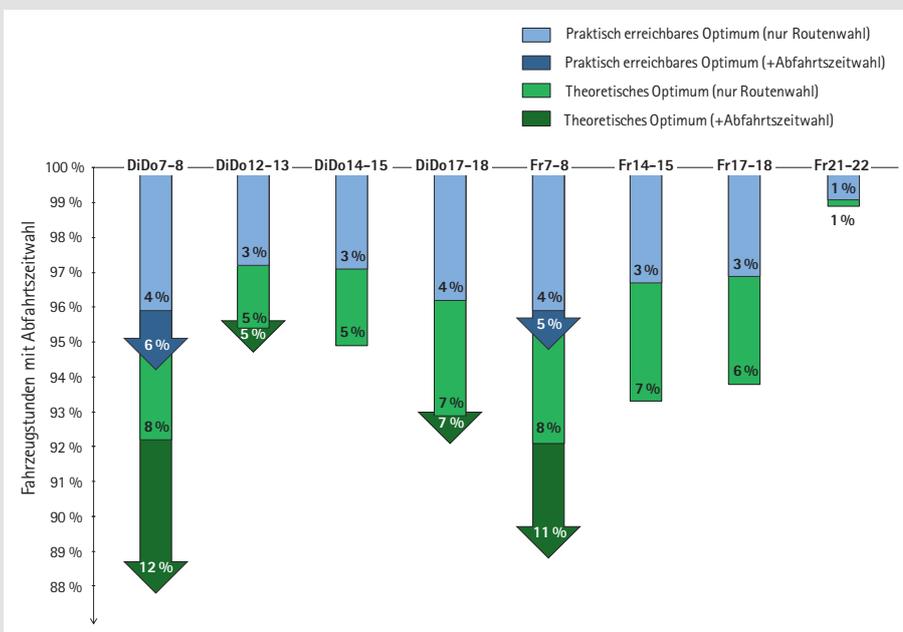


Bild 12: Wirkungen räumlicher und zeitlicher Verlagerung der Verkehrsnachfrage als prozentuale Differenz der FzG-H bezogen auf den heutigen Zustand

mation im optimalen Falle nur perfekt über die aktuellen Reisezeiten und Verkehrszustände informieren und zu einem nutzeroptimalen Zustand führen. Dabei sind die Reisezeiten auf allen Alternativrouten von einer Quelle zu einem Ziel minimal und gleich. Jeder einzelne Fahrer erlebt also die bestmögliche Reisezeit. Dieses Fahrerverhalten wird im Verkehrsmodell durch ein deterministisches Nutzergleichgewicht abgebildet, in dem alle Reisezeiten im gesamten Netz zu jedem Zeitpunkt bekannt sind und die Verkehrsnachfrage sich so verteilt, dass alle aktuellen Routenwiderstände auf einer Relation gleich sind.

Der Reisezeitaufwand ergibt sich direkt als Ergebnis der Verkehrsumlegung in Fahrzeugstunden (FzG-H) für das untersuchte Teilnetz unter Ableitung typischer Nachfragezustände (Stundenmatrizen). Einen Vergleich der Fahrzeugstunden bei rein räumlicher Verlagerung der Verkehrsnachfrage liefert Bild 11 für alle definierten acht Nachfragesituationen und Verkehrszustände. Zu beachten ist dabei, dass eine systemoptimale Verlagerung zum Teil eine nicht zu vernachlässigende Verlagerung ins Nebennetz bewirkt.

Zusätzlich zur rein räumlichen Verlagerung lässt sich das praktisch erreichbare Optimum im Falle einer perfekten Information über Reisezeiten und Abfahrtszeitpunkt ermitteln. Eine Möglichkeit zur aktiven Information über eine optimale Abfahrtszeitwahl als pre-trip-Medium besteht bis heute jedoch nicht. Die heute beobachtete Nachfrage mit ihren gewählten Abfahrtszeitpunkten ist stark durch Wegeketten zwischen zeitlich festgelegten Aktivitäten, aber auch Erfahrungen über die Verkehrslage zu bestimmten Tageszeiten bedingt. Ein theoretisches Optimum, als Gleichverteilung der Verkehrsnachfrage über den Tag, ist durch die mangelnde zeitliche Flexibilität der Personen keine sinnvolle Bezugsgröße. Das hier modellierte theoretische Optimum bezieht sich auf eine systemoptimale Abfahrtszeitwahl innerhalb der Flexibilitätsgrenzen der Verkehrsteilnehmer (Systemoptimum auf Basis der Nutzenfunktion der Verkehrsteilnehmer).

Die Potenziale der Abfahrtszeitwahl beruhen auf der in der Befragung ermittelten zeitlichen Flexibilität der Probanden, die das Verhalten auf dem Arbeitsweg untersucht. Für substituierbare Aktivitäten, wie Einkaufen, ist die reale Bereitschaft zum Wechseln der Abfahrtszeitwahl jedoch

auch der Zeitpunkt des Fahrtantritts beeinflussbar. Fahrer sind nicht mehr nur an der Optimierung ihrer eigenen Fahrt interessiert, sondern verhalten sich für das Kollektiv der Gesamtverkehrsnachfrage optimal. Dieses Fahrerverhalten wird im Verkehrsmodell mit einer systemoptimalen Umlegung umgesetzt, bei der die Zielfunktion als Summe der FzG-Stunden im gesamten Netz definiert ist. Die Verteilung der Verkehrsnachfrage erfolgt aufgrund aktueller Reisezeiten, wobei einzelne Verkehrsteilnehmer Reisezeitnachteile zum Wohle des Kollektivs hinnehmen müssen. In der Praxis ist dieser Zustand nicht durch reine Verkehrsinformation erreichbar, sondern

bedarf anderer Verkehrslenkungsmaßnahmen, wie z. B. Maut.

- **Praktisch erreichbares Optimum (PO):** Das praktisch erreichbare Optimum unterscheidet sich vom theoretischen Optimum dadurch, dass Fahrer in der Realität an der Optimierung ihrer persönlichen Fahrt und nicht der Minimierung der FzG-Stunden des Gesamtkollektivs interessiert sind. Wenn Verkehrsinformationen für den einzelnen Fahrer nicht von Vorteil sind, verlieren sie mittelfristig ihre Wirkung durch sinkende Befolgungsgrade. Da Routen- oder Abfahrtszeitwahlempfehlungen durch Verkehrsinformation für den Fahrer nicht verpflichtend sind, kann Verkehrsinfo-

deutlich größer anzunehmen, sodass auch in den Neben- und Schwachverkehrszeiten mit vornehmlich Wegen zu anderen Zielen als dem Arbeitsplatz zusätzliche zeitliche Verlagerungspotenziale bestehen.

5 Fazit

Heute ist bereits eine Vielzahl von Verkehrsinformations- und -beeinflussungsmaßnahmen in Betrieb. Zudem wurden in diversen Forschungs- und Entwicklungsprogrammen weltweit neue Telematikanwendungen entwickelt und erprobt. Die reale Wirkungsausprägung der unterschiedlichen Maßnahmen ist dabei kaum bekannt oder es existieren nur teilweise belastbare Erkenntnisse. Die Bewertung neu entwickelter, aber auch bestehender Verfahren ist häufig unvollständig und beschränkt sich auf qualitative Aussagen.

Der Grund hierfür liegt darin, dass die Reaktionen der Verkehrsteilnehmer auf Verkehrsinformationen und Routenempfehlungen nur sehr aufwendig zu erfassen sind. Eine differenzierte Kenntnis der Wirkungszusammenhänge zwischen Verkehrsbeeinflussungssystemen und dem resultierenden Verkehrsverhalten aber ermöglicht es den Betreibern, deutlich zielgerichteter die passenden Maßnahmenpakete zur Erzielung der gewünschten Wirkungen auszuwählen.

Um die bestehenden Kenntnisdefizite auszugleichen, wurden im Projekt wiki umfangreiche empirische Untersuchungen durchgeführt, die nicht nur das Verhalten auf einzelnen Strecken, sondern auf Routen von der Quelle bis zum Ziel betrachten. Insbesondere die Analyse des individuellen Verkehrsverhaltens stellt einen Beitrag zum heutigen Wissensstand dar. Um den Zusammenhang von Verkehrsbeeinflussung und dem individuellen Verhalten herzustellen, bedurfte es einer umfassenden Datenerhebung, aber vor allem auch einer komplexen Datenanalyse.

Die erhobenen Verhaltensdaten der GPS-Erhebung wurden mit den gleichzeitig erhobenen Verkehrslagedaten aus der Kennzeichenerfassung und aus anderen Quellen in Verbindung gesetzt. Diese Datenbasis war die Grundlage für die Analyse der Einflussgrößen auf das Routenwahlverhalten. Dabei wurden Eigenschaften der Personen ebenso berücksichtigt wie die Verkehrslage zum Zeitpunkt der Entscheidung, Eigenschaften der Route sowie die Art, der Umfang und die Qualität der zur

Verfügung stehenden Verkehrsinformationen. Ein Stated Preference zur Routenwahl ermöglichte zudem die Analyse des Einflusses einzelner Informationsmedien.

Es zeigte sich, dass vor allem die Reisezeit einen entscheidenden Einfluss auf die Routenwahl hat. Zudem ist eine starke Haupttroutenpräferenz der Probanden zu erkennen, sodass Alternativrouten erst ab einem gewissen Schwellwert an Reisezeiterhöhung auf der Hauptroute attraktiv werden. Der besondere Fokus der Untersuchungen lag dabei auf der Analyse des Einflusses der Verkehrsbeeinflussungssysteme Verkehrsfunk, Wechselwegweisung und Navigationsgeräte. Besonders hohen Einfluss auf das Routenwahlverhalten hatte der Verkehrsfunk und die über Navigationsgeräte dargestellte Level-of-Service-Karte.

Aus dem durchgeführten SP-Experiment zur Abfahrtszeitwahl konnten relevante Einflussgrößen für das Abfahrtszeitwahlverhalten ermittelt werden. Es zeigte sich, dass die Höhe der möglichen Reisezeiterparnis entscheidend für die Bereitschaft zur Verschiebung der üblichen Abfahrtszeit ist. Eine Abfahrtszeitverschiebung gegenüber der üblichen Abfahrtszeit ist dabei grundsätzlich unattraktiv, wobei ein späteres Abfahren besser akzeptiert wird. Bei typischen Pendlerdistanzen von ca. 30 Minuten wird eine um 10 Minuten frühere Abfahrtszeit akzeptiert, wenn der Zeitgewinn zwischen 6 und 7 Minuten beträgt. Die Autofahrer haben hohe Anforderungen an Reisezeiterparnisse, wenn sie dafür eine Änderung ihres Tagesablaufs in Betracht ziehen müssen.

Erkenntnisse aus dem Fahrsimulatorversuch sind u. a., dass Ursachen von Verzögerungen keinen signifikanten Einfluss auf die Bewertung der Verkehrslage durch die Probanden haben. Im Gegensatz dazu beeinflusst das unmittelbar vor einem zu bewertenden Streckenabschnitt Erlebte sehr wohl die Einschätzung der Verkehrslage.

Neben der Empirie wurden Modellansätze überprüft, weiterentwickelt und ein Routen- und Abfahrtszeitwahlmodell geschätzt. Die Integration des Abfahrtszeitwahlmodells in makroskopische Verkehrsmodelle gelang über die Abbildung einzelner Abfahrtszeiten als Fahrt durch verschiedene Zeitscheibenverkehrsnetze.

Zur Abschätzung der Potenziale wurde der Verkehrszeitaufwand im gesamten Untersuchungsgebiet für verschiedene Verkehrszustände (Zustand ohne Information, heutiger Zustand, Zustand mit perfekter

Information, theoretisches Optimum) und für typische beobachtete Nachfragesituationen mit dem Verkehrsmodell bestimmt und miteinander verglichen.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen der Untersuchungen lassen sich folgende Handlungsempfehlungen für den Einsatz individueller und kollektiver Verkehrsbeeinflussungssysteme formulieren:

- Erhöhung der Qualität von Verkehrsinformationen zur Steigerung der Nutzerakzeptanz und Wirkungstiefe der Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen.
- Einheitliche Definition von Verkehrslageinformationen (grün, gelb, rot), um die Verständlichkeit des dargestellten Verkehrszustands zu erleichtern.
- Einfache Darstellung von Verkehrsinformationen über LOS-Karte oder Meldung der Reisezeiterhöhen über Verkehrsfunk zur Steigerung der Wirkung von Routenempfehlungen.
- Nutzung von Reisezeitmessung als Basis von Netzbeeinflussungsanlagen, um Aktualität der Routenempfehlungen zu optimieren.
- Abstimmung von Verkehrsinformationen - Strategiekonformes Routing zwischen kollektiver Wegweisung und der individuellen Zielführung durch Navigationsgeräte zur Steigerung des Befolgungsgrads.
- Schaffung eines Bewusstseins über die Potenziale der Abfahrtszeitwahl zur Nutzung von Kapazitätsreserven durch Entzerrung der Spitzenstunden.

Literaturverzeichnis

- Mc Fadden, D. L. (1973): Conditional Logit Analysis of Quantitative Choice Behaviour, In P. Zarembka (Eds.): Frontiers in Econometrics, Academic Press, New York, USA.
- Cowan, G. (2003): Statistical Data Analysis, Oxford University Press, Oxford, UK.