

Verbindung 1		Verbindung 2	
Abfahrtszeit	6:06 Uhr	Abfahrtszeit	6:32 Uhr
Erwartete Gesamtzeit	2:09 h	Erwartete Gesamtzeit	1:13 h
davon im Fahrzeug	1:43 h	davon im Fahrzeug	1:00 h
davon Wartezeit	0:17 h	davon Wartezeit	0:04 h
davon Fußweg	0:09 h	davon Fußweg	0:09 h
Erwartete Ankunftszeit	8:15 Uhr	Erwartete Ankunftszeit	7:45 Uhr
(in 55 % der Fälle)		(in 70 % der Fälle)	
in 5 % der Fälle	8:05 Uhr	in 20 % der Fälle	7:40 Uhr
in 40 % der Fälle	8:25 Uhr	in 10 % der Fälle	7:55 Uhr
Umsteigen	2 Mal	Umsteigen	1 Mal
Kosten	4,80 €	Kosten	7,80 €

Wahl:

## Zusammenfassung: FE-Projekt-Nr. 96.996/2011

**Ermittlung von Bewertungsansätzen für Reisezeiten und Zuverlässigkeit auf der Basis eines Modells für modale Verlagerungen im nicht-gewerblichen und gewerblichen Personenverkehr für die Bundesverkehrswegeplanung**

**Kay W. Axhausen    Ilka Ehreke**  
**Axel Glemser     Stephane Hess**  
**Christian Jödden   Kai Nagel**  
**Andreas Sauer     Claude Weis**

Ein Projekt von TNS Infratest und IVT, ETH Zürich

November 2015



## Zusammenfassung

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) bereitet derzeit die mittel- und langfristige Investitionsstrategie für den neuen Bundesverkehrswegeplan (BVWP) 2015 vor. Dieser wird den BVWP von 2003 ersetzen. In diesem Rahmen wird die Bewertungsmethodik der Bundesverkehrswegeplanung weiterentwickelt. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Methodik der Nutzen-Kosten-Analysen (NKA) als zentralem Werkzeug für die Bewertung von Infrastrukturvorhaben. Neben einem Projekt, welches sich mit der grundsätzlichen Überprüfung der NKA befasst, konzentriert sich das Projekt, dessen Ergebnisse hier präsentiert werden, auf die Schätzung und Empfehlung neuer Zeitwerte (value of time (VOT)) und Werte der (Reise-) Zuverlässigkeit (value of reliability (VOR)) für den nicht-gewerblichen und gewerblichen Personenverkehr. Diese neuen Werte sollen zukünftig in der Evaluationsphase des Planungsprozesses genutzt werden. Sie ersetzen damit die bisherigen Werte, die ursprünglich dem BVWP 1992 entstammen, aber seitdem lediglich fortgeschrieben wurden.

Seit den Arbeiten von Becker (1965), Beesley (1965) und DeSerpa (1971) dienen mikroökonomische Modelle der Zeitverwendung zur Ermittlung der Zeitwerte im Verkehr. Der derzeitige Forschungsstand basiert zu einem großen Teil auf früheren britischen, niederländischen und skandinavischen Zeitstudien (Wardman, 1998; Abrantes und Wardman, 2011). Die Methodik zur Ermittlung der VOT und VOR änderte sich im Laufe der Zeit von der Erhebung von revealed preference (RP) Daten, d.h. durch Beobachtung oder Befragung von Entscheidungen unter realen Bedingungen gewonnene Daten, zu personalisierten stated choice (SC) Experimenten (Abwägen von und Entscheidung zwischen Alternativen aus einer Reihe von Befragungssituationen), welche insbesondere zur Routen- und Verkehrsmittelwahl verwendet werden, die dann mit diskreten Entscheidungsmodellen des Verkehrsverhaltens ausgewertet werden.

Das Studiendesign des Projektes baut auf den Erfahrungen vorangegangener schweizer Studien auf (Axhausen et al., 2004, 2008; Weis et al., 2012; Fröhlich et al., 2013). Diese entwickelten die internationale Praxis durch den Einsatz komplexerer SC-Experimente weiter, indem sie mehrere Verkehrsmittel und mehr Elemente der generalisierten Reisekosten in einer Abfolge von überlappenden Entscheidungskontexten verwendeten (Verkehrsmittelwahl, Routenwahl, Routenwahl und Abfahrtszeit, sowie Verkehrsmittel und Abfahrtszeit). Es wurden zusätzlich Experimente zu langfristigen Entscheidungen, die einen Effekt auf zukünftige Wege haben, durchgeführt. Dies beinhaltet konkret die Einbeziehung von Entscheidungen zur Wahl des Arbeitsplatzes und zur Wahl des Wohnortes unter der Berücksichtigung der Reisezeit, des Verkehrsmittels und des Reisezwecks.

Der BVWP benötigt sowohl Zeitwerte für den nicht-gewerblichen Verkehr als auch für den

Personenwirtschaftsverkehr (PWV). Dieser umfasst in unserer Definition den gesamten gewerblichen Verkehr mit Ausnahme des Güterverkehrs, Notdienste oder Fahrdienste (Auslieferung, Bus, Taxi). Da der PWV nur von einem kleinen Teil der Bevölkerung ausgeführt wird, war es notwendig, zusätzlich eine separate Stichprobe für den gewerblichen Verkehr zu erheben.

Die repräsentative Bevölkerungsstichprobe wurde anhand eines Dual-Frame-Ansatzes mit einem Verhältnis von 60 % Festnetz- und 40 % Mobilfunknummern ermittelt, um zu garantieren, dass auch Personen erreicht werden, die ausschließlich Mobiltelefone nutzen (ADM, 2012). Die Teilnehmer der gewerblichen Stichprobe wurden online über ein TNS Infratest Access Panel rekrutiert und erhielten einen kleinen Anreiz für ihre Teilnahme. Übereinstimmend mit der internationalen Praxis wurden in einem zweistufigen Ansatz zunächst das berichtete Verhalten (RP-Daten) erhoben und in einer zweiten, darauf aufbauenden Stufe das Verhalten in hypothetischen Märkten (SP-Daten) erfasst.

Neben der Ermittlung genereller Informationen zum Mobilitätsverhalten und zu individuellen mobilitätsbezogenen Rahmenbedingungen wurden tatsächlich durchgeführte Wege im Rahmen eines CATI-Interviews erfasst. Zum einen wurden Reisen mit einer Entfernung von mehr als 50 km einfacher Fahrt und zum anderen Alltagswege unabhängig von der Wegelänge untersucht. Dabei wurde zwischen dem Weg zur Arbeit, zum Einkaufsort, zum Freizeitort und für gewerbliche Zwecke unterschieden. Die Auswahl einer Fokusreise für die einzelnen Befragten erfolgte zufallsgesteuert, jedoch so dass etwa ein Drittel der Fokusreisen lange Reisen und zwei Drittel Alltagswege waren. Von den über das Web Panel rekrutierten Personen des gewerblichen Verkehrs wurden in einem CATI-Interview bis zu drei gewerbliche/dienstliche Reisen erfasst. Da die letzte dienstliche Reise die Fokusreise darstellte, wurden hierzu Detailinformationen erhoben.

Die Distanzen und Fahrtzeiten im MIV wurden mithilfe der am IVT zur Verfügung stehenden Software MATSim tageszeitspezifisch ermittelt. Die Fahrtzeiten, Umsteigewartezeiten, Umsteigehäufigkeiten, Fahrpreise im ÖV wurden auf Grundlage der Auskünfte der Deutschen Bahn Webseite ermittelt. Der notwendige Webrobot wurde vom IVT erstellt. Ein analoges Vorgehen wurde für Flugreisen verwendet.

Die gewerbliche Verkehrsmittelwahl muss zukünftig genauer berücksichtigt werden. Wenn der Geschäftsreisende nicht frei über sein Verkehrsmittel oder seine Route entscheiden kann, würde das die Ergebnisse der SC-Experimente entkräften. Um die wissenschaftliche Analyse zu vervollständigen und das Fachwissen der Praxis umfassend einzubeziehen, wurden 24 Praxisvertreter in qualitativen Interviews zur Wahl des Verkehrsmittels in Ihrem Unternehmen befragt. Dieses Ergebnis erlaubte es, uns den SC-Ansatz weiter zu verfolgen, da durch die Befragung der reisenden Mitarbeiter, die Zielpersonen direkt angesprochen wurden.

Den befragten Personen wurde abhängig von den Eigenschaften des gewählten Weges eine Kombination von SC Experimenten vorgelegt. In der Regel erhielten sie drei verschiedene SC-Experimente, ein Verkehrsmittel- oder Routenwahlexperiment, ein Zuverlässigkeitsexperiment, sowie ein langfristiges Arbeitsplatz- oder Wohnortwahl-Experiment. Die Experimente zur Zuverlässigkeit basierten auf den Routenwahlexperimenten, jedoch mit stärkerem Fokus auf Variablen, welche die Zuverlässigkeit des Verkehrsmittels wiedergeben.

In der getrennt erhobenen Stichprobe der gewerblichen Fahrten war das Vorgehen für die Zuteilung der SC-Experimente ähnlich. In dieser Stichprobe wurden jedoch die Eigenschaften des Arbeits- bzw. Wohnortes nicht erhoben und daher auch keine entsprechenden langfristigen Experimente angeboten.

Das Antwortverhalten der Teilnehmer übertraf die Erfahrungen aus den Schweizer Erhebungen des IVTs (Axhausen und Weis, 2010). Eine Ausschöpfung von über 30 % bei einer CATI-Rekrutierung und 75 % komplette Interviews nach der ersten Phase sowie eine Antwortrate von gut 73 % und gut 93 % in der zweiten Phase bei hoher Komplexität des Erhebungsinstruments, spiegeln das Interesse an der Thematik wider.

Die im Studiendesign festgelegten gemeinsamen Variablen der einzelnen Experimente erlaubten die gemeinsame Schätzung des Modells. Unterschiede zwischen den Experimenten hinsichtlich des relativen Einflusses des nicht beobachteten Nutzens wurden in der Schätzung durch experiment-spezifische Skalenparameter berücksichtigt.

Es ist bekannt, dass sich die Zeitwerte (VOT) mit zunehmender Distanz oder Reisezeit verändern können. Diese Nichtlinearität wurde mit einer Reihe von Formulierungen getestet, unter anderem mit dem von Mackie et al. (2003) vorgeschlagenen Interaktionsterm und verschiedenen alternativen-spezifische nichtlinearen Transformationen, z.B. von einer einfachen log zu einer Tangens-Hyperbolicus-Transformation. Am Ende kann das Verhalten mit der folgenden Formulierung am besten beschrieben werden:

$$U_i = \sum_j \dots (\beta_{i,j} * x_{i,j} + \alpha_{i,j} * \ln(x_{i,j} + \gamma_{i,j})) * \left( \frac{z_j}{\mu(z_j)} \right)^{\lambda_{ijz_j}} \dots \quad (1)$$

$U_i$  ist der Nutzen der Alternative  $i = 1, \dots, n$ ,  $i$  ist der Satz der verfügbaren Alternativen,  $x_{ij}$  ist die Eigenschaft  $j$  der Alternative  $i$ ,  $(\beta, \alpha, \gamma)_{ij}$  sind Parameter zur Bewertung von  $x_{i,j}$ ,  $\lambda_{i,j,z_{i,j}}$  Interaktion der Bewertung von Attribut  $j$  der Alternative  $i$  bezüglich des Attributs  $z_j$  und  $\mu(z_j)$  ist der Mittelwert des Attributs  $z_j$ .

Für die Zuverlässigkeit wurden ebenfalls unterschiedliche Spezifikationen getestet und diese

am Ende als Varianz der Reisezeit für den MIV und als durchschnittliche, ungeplante mittlere Verspätung für Flug und ÖV festgelegt.

Nach sorgfältiger Entwicklung der Modellstrukturen empfehlen wir die in Tabelle 1 angegebenen Mittelwerte gewichtet auf die MID-Distanzverteilung. Diese Werte beruhen auf den nichtlinearen, aus RP- und SP-Daten gepoolten Modellformulierungen, die durch ihre Modellgüte und auch durch die differenzierte Erfassung der Fahrzeit und Einkommenseffekte überzeugen.

Tabelle 1: Zeitwerte für das nichtlineare Modell in €/h (gewichtetes Mittel über alle Entfernungen und Einkommen)

Fahrtzweck	Verkehrsmittel			
	ÖV	MIV	Flug	Alle
Ausbildung	4,39	3,90	–	4,26
Arbeit	4,47	4,87	–	4,80
Einkauf	5,11	4,29	–	4,62
Freizeit	4,35	4,03	25,45	4,35
Gewerblicher Weg	7,01	8,38	38,76	8,50
Arbeit + Ausbildung	4,46	4,73	–	4,72
Nicht-gewerblich Gesamt	4,66	4,32	–	4,56
Alle	4,83	4,66	33,67	4,83

Für den gewerblichen Verkehr wurden zusätzlich noch die Werte nach Hensher (1977) und dem Cost Saving Ansatz ermittelt. Da aber keine deutschen Werte für die zentralen Annahmen des Ansatzes vorliegen, schlagen wir vor, die Zeitwerte aus der vorliegenden Untersuchung zu verwenden. Auch die Werte für den gewerblichen Personenverkehr mit dem Cost-Saving-Ansatz konnten aufgrund des Studiendesigns nur annähernd bestimmt und daher nicht zur Anwendung empfohlen werden.

Die Einkommensabhängigkeit der Zeitwerte wurde in die Modellformulierung aufgenommen und erwies sich als signifikant. Dennoch erlaubt es die BVWP-Daten-Infrastruktur nicht, diese zu berücksichtigen. Aus diesem Grund wurden keine einkommensabhängigen Werte berechnet. Die distanzabhängigen Werte wurden aus den berichteten Wegen berechnet und in Distanzbändern aggregiert. Eine Glättung der Werte wurde durch entsprechende Regressionsanalysen und zusätzliche multiplikative oder additive Korrekturen erreicht, so dass die Mittelwerte aus Tabelle 1 korrekt reproduziert werden. Ebenso berechnet wurden die relativen Verhältnisse der anderen in den Experimenten enthaltenen Variablen zur Reisezeit und die Nachfrage- und

Kreuz-Elastizitäten der einzelnen Verkehrsmittel. Diese haben die erwarteten Größen innerhalb der in der Literatur berichteten Werte.

Während es in der empirischen Literatur zum kurzfristigen Verkehrsverhalten Hinweise gibt, dass kleine Zeitveränderungen kurzfristig nicht wahrgenommen werden, ist dies in der Logik der langfristigen Bewertung der Verfahren der Nutzen-Kosten-Analyse nicht relevant. Es wäre systemwidrig und würde darüber hinaus Möglichkeiten für die Manipulation der NKA-Ergebnisse eröffnen. Wir empfehlen deshalb, der internationalen Praxis zu folgen und keine Abschläge für kurze Fahrzeitveränderungen vorzunehmen. Während der Modellierung wurden spezifische empirische Tests durchgeführt, um zu klären, ob es unterschiedliche Empfindlichkeiten in Abhängigkeit von der Größe der präsentierten Differenzen eines gegebenen Attributs zwischen den Alternativen gibt. Diese Tests zeigten keine solchen Größeneffekte, nachdem andere entscheidende Nichtlinearitäten berücksichtigt wurden.

Tabelle 2: Zahlungsbereitschaft Zuverlässigkeit für das nichtlineare Modell in €/h (gewichtetes Mittel über alle Entfernungen und Einkommen)

Fahrtzweck	Verkehrsmittel		
	ÖV Durchschnittliche mittlere, ungeplan- te Verspätung	MIV Std. Abweichung	Flug Durchschnittliche mittlere, ungeplan- te Verspätung
Ausbildung	4,66	3,21	–
Arbeit	5,10	3,45	–
Einkauf	4,28	3,51	–
Freizeit	4,82	3,09	38,44
Gewerblicher Weg	15,97	6,54	51,27
Arbeit + Ausbildung	5,03	3,42	–
Nicht-gewerblich Gesamt	4,68	3,34	–
Alle	5,48	3,61	46,60

Die Werte für die Zuverlässigkeit lassen sich analog zu den Zeitwerten ableiten. Tabelle 2 zeigt die empfohlenen Werte aus dem Schlussmodell für die durchschnittliche mittlere, ungeplante Verspätung für den ÖV und das Flugzeug bzw. die Standardabweichung für den MIV. Die Werte der durchschnittlichen mittleren ungeplanten Verfrühung erwiesen sich im Modell als teilweise nicht signifikant. Die daraus berechneten Werte werden daher nicht zur Anwendung empfohlen. Die zunehmende Verbreitung von Smartphones, Tablets und anderen Geräten führt zu einer besseren Nutzbarkeit der Verfrühung in fast jeder Situation.

## Literatur

- Abrantes, P. A. L. und M. Wardman (2011) Meta-analysis of UK values of travel time: An update, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **45**, 1–17.
- ADM (2012) Dual-Frame-Ansätze 2011/ 2012 - Forschungsbericht, *Forschungsbericht*, ADM Arbeitskreis Deutscher Markt- und Sozialforschungsinstitute e.V., ADM Arbeitskreis Deutscher Markt- und Sozialforschungsinstitute e.V.
- Axhausen, K. W., S. Hess, A. König, G. Abay, J. J. Bates und M. Bierlaire (2008) Income and distance elasticities of values of travel time savings: New Swiss results, *Transport Policy*, **15** (3) 173–185.
- Axhausen, K. W., A. König, G. Abay, J. J. Bates und M. Bierlaire (2004) Swiss value of travel time savings, Vortrag: *European Transport Conference*, Straßburg, Oktober 2004.
- Axhausen, K. W. und C. Weis (2010) Predicting response rate: A natural experiment, *Survey Practice*, **3** (2).
- Becker, G. S. (1965) A theory of the allocation of time, *Economic Journal*, **75**, 493–517.
- Beesley, M. E. (1965) The value of time spent in travelling: some new evidence, *Econometrica*, 174–185.
- DeSerpa, A. C. (1971) A theory of the economics of time, *The Economic Journal*, **81** (324) 828–846.
- Fröhlich, P., C. Weis, A. Erath, M. Vrtic und K. W. Axhausen (2013) SP-Befragung 2010 zum Verkehrsverhalten im Personenverkehr, *Travel Survey Metadata Series*, **48**, IVT, ETH Zürich, Zürich.
- Hensher, D. A. (1977) *Value of business travel time*, Pergamon Press, Oxford.
- Mackie, P. J., M. Wardman, A. S. Fowkes, G. Whelan, J. Nellthorp und J. J. Bates (2003) Values of travel time savings in the UK, *Forschungsbericht*, Department for Transport, Institute for Transport Studies, Universität Leeds, John Bates Services, Leeds, Abingdon.
- Wardman, M. (1998) The value of travel time: a review of British evidence, *Journal of Transport Economics and Policy*, 285–316.
- Weis, C., M. Vrtic, P. Widmer und K. W. Axhausen (2012) Influence of parking on location and mode choice: A stated choice survey, Vortrag: *91st Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., Januar 2012.