

Ausgabe	S+V 10/04
Autor	Axhausen, Abay, König
Rubrik	Fachartikel

Zeitkostenansätze im Personenverkehr: Eine Schweizer Studie

Verkehrspolitische Massnahmen und Verkehrsinfrastrukturausbauten haben vielfältige Auswirkungen. Um die Vor- und Nachteile der Auswirkungen gegeneinander abzuwägen, wird in der Regel eine Kosten-Nutzen-Analyse (KNA) durchgeführt. In die Bewertung des Nutzens einer Massnahme fliessen auch die monetarisierten Kosten von Reisezeitersparnissen ein. In der Schweiz gab es dazu bislang keine aktuellen Untersuchungen. Die verwendeten Zeitkostensätze basierten zum Teil auf zwanzig Jahre alten Annahmen oder wurden von ausländischen Studien übernommen. Entsprechend weit ist die Bandbreite der verwendeten Werte. Diese Unsicherheiten sind vor allem deshalb problematisch, weil der Nutzen, der sich aus Reisezeitersparnissen ergibt, häufig eine ausschlaggebende Rolle in Kosten-Nutzen-Analysen für Verkehrsinvestitionen spielt. Zeitkostenansätze werden jedoch nicht nur in Kosten-Nutzen-Analysen gebraucht, sie sind auch allgemein für die Modellierung des Verkehrsverhaltens unerlässlich.

Von Arnd König, Kay W. Axhausen und Georg Abay *

Vor zwei Jahren wurde von der Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure (SVI) eine Studie in Auftrag gegeben, die mit Hilfe von Stated Preference Methoden (SP) Daten zum Verkehrsverhalten und zur Zahlungsbereitschaft für Reisezeitänderungen ermitteln sollte, wie in der Vorstudie von Abay und Axhausen (2000) empfohlen. Die Zeitwerte sollten anhand von

Ausgabe	S+V 10/04
Autor	Axhausen, Abay, König
Rubrik	Fachartikel

Entscheidungsmodellen der Logit Familie geschätzt werden. Die Ergebnisse sollten für den Schweizerischen Personenverkehr mit Verkehrsmittel PW und ÖV sowie für verschiedene Reisezwecke gültig sein. Dieser Aufsatz stellt die Ergebnisse dieser Studie nach einem Überblick über die Zeitwerte aus früheren europäischen Studien dar. Nach einer kurzen Beschreibung des Messinstruments werden die Modellierung und deren Ergebnisse erläutert.

Zeitwertforschung hat Tradition

Die Zeitwertforschung besitzt inzwischen eine lange internationale Tradition. In Europa wurden erste Studien bereits vor mehr als 30 Jahren durchgeführt. In Grossbritannien und auch im skandinavischen Raum werden seit einigen Jahren die Daten zur Zeitwertermittlung fast ausschliesslich mit SP-Methoden erhoben und durch Schätzungen von Entscheidungsmodellen ermittelt. Diese Ergebnisse ersetzen bisherige Werte, die oftmals auf auf RP Daten basierten und oder vereinfacht einen anteiligen Stundenlohn ansetzten. Methodisch wurden zuletzt im Jahr 2000 in Grossbritannien erneute, umfangreiche Schätzungen durchgeführt (vgl. Mackie, Wardman, Fowkes, Whelan, Nellthorp und Bates (2003)). Von ihnen wurde ein Modellierungsansatz mit einkommens- und distanzabhängigen Elastizitäten entwickelt, der in der vorliegenden Studie ebenfalls zur Erhöhung der Modellgüte geführt hat.

Die Abbildung 3 gibt einen kleinen Überblick über die Zeitwerte, die in vergleichbaren europäischen Studien geschätzt wurden. Auch in der Schweiz wurden in verschiedenen Studien Zeitwerte für Reisezeitersparnisse ermittelt. Zuletzt wurden in einer methodisch ähnlich angelegten Studie von Vrtic, Axhausen, Maggi und Rossera (2003) Zeitkosten geschätzt. Die Ergebnisse weichen von denen dieser Stichprobe zum Teil ab. Wie lassen sich diese Unterschiede und auch die zu den internationalen Referenzstudien erklären? Offenbar spielt sowohl das unterschiedliche Forschungsziel der jeweiligen Studie, die unterschiedlichen Experimente mit den entsprechenden Entscheidungsvariablen und deren Präsentation eine wichtige Rolle. Die Befragungen besitzen auch einen unterschiedlichen Grad an Komplexität. Während sich die Fragen der vorliegenden Zeitwertstudie bewusst auf die Reisekosten und Reisezeiten von Tür-zu-Tür konzentriert, enthält zum Beispiel die Studie von Vrtic, Axhausen, Maggi und Rossera (2003) mehr Variablen, wie Komfortmerkmale der Zugskategorien oder die Verlässlichkeit. Solche Variablen wurden in dieser Studie bewusst nicht berücksichtigt und können in die Modellschätzung entsprechend nicht aufgenommen werden. Die Modellformulierung an sich ist ebenfalls sehr unterschiedlich. Auch sind die Stichproben hinsichtlich der berücksichtigten Wegelängen und Sprachregionen verschieden. Die vorliegende Studie berücksichtigt dagegen alle Wege über 3 Kilometer aus allen Landesteilen und gewichtet ja zuletzt die Ergebnisse nach dem Mikrozensus 2000. Dieser Schritt gewährleistet eine schweizweite Repräsentativität. Aus den genannten Gründen können ausschliesslich die vorliegenden Ergebnisse zur Zeitkosten im Personenverkehr für den

Ausgabe	S+V 10/04
Autor	Axhausen, Abay, König
Rubrik	Fachartikel

Verkehrsmarkt der Schweiz zur Anwendung empfohlen werden.

SP-Befragungen

Die internationalen Erfahrungen haben gezeigt, dass ein hoher Differenzierungsgrad bei der Zeitwertermittlung insbesondere mit Hilfe von Stated Preference (SP-)Methoden erreicht werden kann. Deshalb wurden den Teilnehmern der vorliegenden Studie Verkehrsmittelwahl- und Routenwahl-SP-Experimente präsentiert. Die Teilnehmer der Befragung wurden durch die kontinuierliche Erhebung im Personenverkehr (KEP) der Schweizerischen Bundesbahnen rekrutiert. Diese telefonischen Interviews erfassen das Verkehrsverhalten der Teilnehmer der zurückliegenden Woche. Es werden alle Wege über 3 Kilometern Länge und die soziodemografischen Merkmale der Personen aufgenommen sowie die Teilnahmebereitschaft für die vorliegende Studie erfragt. Einer dieser berichteten Wege ist die Basis der SP-Experimente der Befragten. Die Experimente wurden den Teilnehmern der Studie in verschiedenen Fragebogenkombinationen präsentiert. Je nach Typ und Umfang des Gesamtfragebogens wurden die Experimente 6- bis 9-mal pro Befragtem wiederholt. Die berücksichtigten Entscheidungsvariablen können dem Beispielsperiment für die Verkehrsmittelwahl in Abbildung 2 entnommen werden. Die Routenwahlexperimente für die jeweiligen Verkehrsmittel verwenden dieselben Variablen. Die Fragebögen wurden anhand der Verkehrsmittelwahl des berichteten Weges variiert. Zur Plausibilitätsprüfung wurden ÖV-Routenwahlexperimente auch mit PW-Fahrern durchgeführt. Personen, die kein PW zur Verfügung hatten, erhielten nur Experimente zur ÖV-Routenwahl. Die Abbildung 4 zeigt die Fragebogenkombinationen und den Rücklauf der Studie. Es wurden je nach Landesteil ein oder zwei Erinnerungsschreiben versandt. Eine Untersuchung der soziodemographischen Struktur der Stichprobe ergibt teilweise erhebliche Unterschiede zum schweizerischen Mittel. Es zeigt sich, dass an der Befragung überdurchschnittlich viele gebildete, arbeitende ÖV-Benutzer teilgenommen haben. Dieser Personenkreis scheint besonders motiviert, zur Qualitätssteigerung des täglich benützten Verkehrssystems, dem ÖV, beizutragen. Dies belegt auch die Tatsache, dass alle Teilnehmer die Fragebogen weitgehend komplett ausgefüllt haben. Selbst die Frage nach dem Einkommen wurde von lediglich 3 % nicht oder mit der Option keine Angabe beantwortet. Die fehlenden Daten wurden anhand der Variablen, Alter, Geschlecht, Arbeitsstatus und Ausbildung imputiert. Die unterschiedliche soziodemografische Struktur der Stichprobe gegenüber dem Schweizer Mittel lässt die Frage aufkommen, in wie weit die Ergebnisse der Studie allgemeingültig sind, bzw. welche Modifizierungen notwendig sind, um die Repräsentativität zu gewährleisten. Im Allgemeinen besteht die Möglichkeit die Personen der Stichprobe mit Gewichten zu versehen, um die entsprechenden Verzerrungen hinsichtlich Wohnort oder soziodemographischen Eigenschaften zu kopieren. Für deskriptive Untersuchungen ist eine solche Gewichtung zwingend notwendig. In der vorliegenden Studie wird jedoch das Entscheidungsverhalten von Personen nicht linear modelliert. Fließen nun in die Modellformulierung alle Variablen ein, die die

Ausgabe	S+V 10/04
Autor	Axhausen, Abay, König
Rubrik	Fachartikel

Selbstselektion erklären oder wird das Verhalten eines bestimmten Personenkreises untersucht, dann entfällt die Notwendigkeit einer Gewichtung (s.a. Ben-Akiva und Lerman (1985)). Die Verkehrsmittelwahlmodelle berücksichtigen insbesondere die Verkehrsmittelverfügbarkeit und die Routenwahlmodelle werden für die unterschiedlichen Verkehrsmittelbenutzer segmentiert. Ein dennoch durchgeführter Vergleich der Zeitwerte der Modelle mit und ohne Gewichtung ergibt geringe Abweichungen von 3 bis 5 % bei den geschätzten Zeitwerten.

Modellierung

Kern der Analyse und Grundlage für die Ermittlung der Zeitwerte bilden verschiedene Modellreihen mit diskreten Entscheidungsmodellen. Die Anwendung diskreter Entscheidungsmodelle ist inzwischen in allen Bereichen der Verkehrsplanung etabliert. Erste Ansätze erarbeiteten Domencich und Mc Fadden (1975) und später Ben-Akiva und Lerman (1985). Eines der gebräuchlichsten Modellformen ist das Logit Modell. Grundsätzlich wird dabei der subjektive, individuelle Nutzen der Alternative berechnet, wobei die Entscheidung zu Gunsten der Alternative fällt, die den höchsten Nutzen aufweist. In diesem Zusammenhang wird auch von ökonomischen Nutzenmodellen gesprochen. Dabei wird ein rationelles, objektives Handeln der Verkehrsteilnehmer vorausgesetzt.

Es wird also angenommen, dass jeder Verkehrsteilnehmer umfassend über alle Alternativen informiert ist. Dies betrifft zum Beispiel die zur Wahl stehenden Ziele, alle zur Verfügung stehenden Verkehrsmittel (inklusive deren Fahrplandaten, Reisezeiten, Fahrzeugabstellmöglichkeiten, der entsprechenden Kosten u. a.) oder der lückenlose Überblick über das nutzbare Wege- bzw. Liniennetz. Diese Annahme ist insofern problematisch, als dass jede Person naturgemäß nur einen Ausschnitt der Alternativen und ihrer Eigenschaften kennt. Das Verhalten basiert auf dem persönlichen Informationsgrad, der von Person zu Person stark differiert. So sind zum Beispiel die Verkehrsteilnehmer unterschiedlich über das Angebot im Öffentlichen Personen Nahverkehr (ÖPNV) informiert. Um dies zu berücksichtigen, muss der objektive Nutzen einer Variante um einen zufälligen Betrag erweitert werden, der für jede Person, Alternative und Situation spezifisch ist. Dieser Betrag ist aus Sicht aussen stehender Beobachter zufällig. Aktuelle Situationen, wie sich ständig ändernde Netzzustände, können von den Verkehrsteilnehmern mangels Informationen nur in geringem Masse bei ihren Wahlentscheidungen berücksichtigt werden. Deshalb setzt sich der in das Modell einflussende Nutzen aus zwei Teilen zusammen (vgl. Axhausen (2003)) :

- Ein messbarer, systematischer Teil $V(X_{kjq})$, der den Wert des objektiven Nutzens der Alternative j für die Person q darstellt.
- Ein zufälliger Anteil oder Fehler ϵ_{jq} , der $V(X_{kjq})$ hinsichtlich Individualität der Verkehrsteilnehmer und möglicher Mess- und Beobachtungsfehler korrigiert.

Der Nutzen U_{jq} ergibt sich aus:

$$U_{jq} = U(X_{kjq}) = V(X_{kjq}) + \epsilon_{jq}$$

Ausgabe	S+V 10/04
Autor	Axhausen, Abay, König
Rubrik	Fachartikel

Allerdings variiert der messbare Nutzen V_{jq} gemäss der Eigenschaften der Alternative, den individuellen Eigenschaften der Personen selbst und der Entscheidungssituation. Der systematische Nutzenanteil hat deshalb drei Teile:

$$V(X_{kjq}) = a_j + S\beta_{k'q} p_{k'q} + S\beta_{k'j} s_{k'q} + S\beta_{kj} x_{kjq}$$

mit:

a_j : Konstante für Alternative j

$p_{k'q}$ Eigenschaft $k' = 1 \dots m'$ der Person q

$s_{k'q}$ Eigenschaft $k' = m' + 1 \dots m'$ der Situation der Person q

x_{kjq} Eigenschaft $k = m' + 1 \dots m$ der Alternative j für Person q

Die Parameter in Logit Modellen werden mit der Maximum-Likelihood-Methode geschätzt. Dabei handelt es sich um ein Verfahren, das die Parameter des Entscheidungsmodells so bestimmt, dass die beobachteten Entscheidungen mit grösster Wahrscheinlichkeit reproduziert werden. In der vorliegenden Studie wurde nun eine Vielzahl von Komponenten bzw. Modellformulierungen getestet. Während der Vorbereitung der eigentlichen Schätzreihen wurde zunächst untersucht, in wie weit sich die Reisezeitparameter signifikant voneinander unterscheiden. Es wurde festgestellt, dass die Bewertung der Reisezeiten im ÖV und beim PW unterschiedlich ist. Von der Stichprobe wurden allerdings die PW-Reisezeiten beim PW zwischen freier Fahrt und stop-and-go nicht unterschiedlich bewertet. Darauf aufbauend wurden Grundmodelle mit allen Entscheidungsvariablen definiert. Für die Verkehrsmittelwahl wurden die Trägheitsvariablen ergänzt, also die PW-Verfügbarkeit, der Besitz von ÖV-Abonnements sowie die Wahl des Verkehrsmittels für den berichteten Weg im KEP-Telefoninterview. Diese Variablen korrigieren für die Tatsache, dass die Befragten ihre Alltagserfahrung und ihre Alltagsvorurteile in die Beantwortung von SP-Befragungen einfließen lassen. Anschliessend wurden verschiedene Ansätze und Module eingesetzt bzw. getestet, um eine Erhöhung der Modellgüte zu erreichen. Eine besondere Modellausprägung stellen Mixed Logit bzw. Random Parameter Logit Formulierungen dar. Bei diesen Modellen werden keine fixen Parameter geschätzt, sondern man nimmt an, dass die Parameter eine Wahrscheinlichkeitsverteilung haben. Das bedeutet, dass neben dem Mittelwert der Parameterverteilung auch die Streuung der Verteilung geschätzt wird. Dieser Ansatz hat in den letzten Jahren rasch an Bedeutung gewonnen, da er heute numerisch relativ einfach zu implementieren ist und sehr flexible Modelle zur Berücksichtigung von Geschmacksunterschieden bei den Befragten erlaubt. Es lassen sich Zustandsabhängigkeit, zeitliche Korrelation unbeobachteter Grössen und individuelle Heterogenität als Geschmacksvariationen abbilden. Eine weitere Modellform stellt die Einführung von einkommens- und distanzabhängigen Parametern dar. Die Formulierung wurde von Mackie, Wardman, Fowkes, Whelan, Nellthorp und Bates (2003) bei einer

Ausgabe	S+V 10/04
Autor	Axhausen, Abay, König
Rubrik	Fachartikel

umfangreichen Neubewertung der britischen Zeitkostensätze entwickelt und konnte in der vorliegenden Studie ebenfalls erfolgreich angewendet werden. Die Formulierung in der Nutzenfunktion ist:

$$\dots + b_{\text{Kosten}} * \left(\frac{\text{Einkommen}}{\text{mittl.Einkommen}} \right)^{\epsilon_{\text{Einkommen}}} * \left(\frac{\text{Weglänge}}{\text{mittl.Weglänge}} \right)^{\epsilon_{\text{Weglänge}}} * \text{Kosten} + \dots$$

Das mittlere Einkommen der Stichprobe beträgt CHF 80'000, ein durchschnittlicher Weg der Stichprobe hat die Länge von etwa 43 km. Die ermittelten durchschnittlichen Zeitwerte der Stichprobe beziehen sich entsprechend auf diese Zahlen. Ähnlich wie bei der Einführung der wahrscheinlichkeitsverteilten Parameter steigt auch hier die Modellgüte insbesondere bei der Verkehrsmittelwahl. Die zusätzlichen Elastizitätsparameter wirken in die erwartete Richtung und sind durchwegs hoch signifikant. Ein weiteres Ziel der Studie ist es Zeitwerte für unterschiedliche Wegezwecke zu ermitteln. Die Befragung ist dementsprechend so angelegt, dass die beschriebenen Wege in die vier Schweizweit üblichen Kategorien Pendlerfahrt (P), Einkaufsfahrt (E), Nutzfahrt (N) sowie touristische bzw. Freizeit-Fahrt (T) aufgeteilt werden. Dabei ist zunächst zu testen, inwieweit sich die einzelnen Zeitwerte der Wegezwecke signifikant voneinander unterscheiden. Die Testergebnisse zeigen keine Struktur, die auf gleiche Zeitwerte über alle Wegezwecke hinweisen. Es muss davon ausgegangen werden, dass Reisezeitersparnisse je nach Zweck der Reise auch unterschiedlich bewertet werden. Deshalb ist die letzte Erweiterung der Modelle eine Interaktion der Reisezeiten mit den einzelnen Wegezwecken.

Die gewonnenen Erkenntnisse aus den verschiedenen beschriebenen Tests und Ansätzen haben gezeigt, dass die Modellierung zunächst getrennt nach Routen- und Verkehrsmittelwahl durchgeführt werden kann. Werden diese Grundmodelle durch verschiedene Formulierungen ergänzt, kann die Modellgüte teilweise erheblich verbessert werden. Die Verbesserung der Modellgüte in allen Fällen lässt den Schluss zu, dass eine schrittweise Kombination der genannten Erweiterungen die Modellgüten kumulativ erhöht. Abbildung 5 zeigt die Modellformulierung.

Parameter sind signifikant

Die Parameterschätzung zeigt hohe Modellqualitäten. Alle Schätzwerte besitzen plausible Vorzeichen. Die Parameter sind grösstenteils hochsignifikant. Sehr grossen Einfluss besitzen naturgemäss die Trägheitsvariablen. Insbesondere der Abonnementbesitz aber auch die PW-Verfügbarkeit belegen die hohe Bindung an das jeweilige Verkehrsmittel. Neben der Verkehrsmittelbindung durch den Besitz, zeigt sich aber eine starke Verknüpfung zwischen Weg und Verkehrsmittel. Zum einen weisen die beiden Variablen eine leichte Korrelation auf, zum anderen scheinen aber noch mehr Gewohnheitseffekte der Befragten, bzw. routenspezifische Effekte eine Rolle zu spielen. Dabei wird deutlich, dass die Verkehrsmittelwahl als eine erweiterte Routenwahl verstanden werden muss, bei der die Alternativen Routen um modale Variablen erweitert werden. Lässt man diese weg, wie bei der einfachen Routenwahl, fehlen entscheidende Attribute, die für die

Ausgabe	S+V 10/04
Autor	Axhausen, Abay, König
Rubrik	Fachartikel

Wahl der Route neben rein ökonomischen Betrachtungen, also Reisezeit und -kosten, wesentliche Faktoren darstellen.

Die benützte Software Biogeme 0.7 macht eine gemeinsame Schätzung verschiedener Datensätze möglich, in dem zusätzlich für jeden Datensatz ein Skalierungsparameter ermittelt wird, der die unterschiedliche Varianz des Restfehlers e abbildet. Die Nutzenfunktion jeder Alternative eines Datensatzes wird mit dem entsprechenden Parameter versehen (vgl. Bierlaire, Bolduc und Godbout (2004)). Die geschätzten Skalierungsparameter unterstützen unsere Erwartung, dass die Varianz der Verkehrsmittelwahl SPs höher ist als die der Routenwahl SPs. Dies scheint durchaus plausibel, denn bei der Routenwahl werden beispielsweise Trägheitsmomente, die die Entscheidung beeinflussen viel stärker ausgeschlossen als bei der Verkehrsmittelwahl. Im kombinierten Modell werden alle Datensätze gemeinsam betrachtet. Dies ist wegen der gemeinsamen Variablen der Experimente leicht möglich. Mit der gewählten Modellformulierung können Zahlungsbereitschaften für Reisezeitreduktionen für den Pendler-, den Einkaufs- sowie den Freizeitverkehr geschätzt werden. Die Abbildung 6 zeigt das Ergebnis der Schätzungen der empfohlenen Modelle. Eine Schätzung von Zeitkostenparametern für den Geschäftsverkehr führt zu keinen plausiblen Werten, deshalb werden diese Zahlen aus den Verhältnissen werden zu anderen Zeitwerten ermittelt. Dafür werden aus den internationalen Studien entsprechende Verhältniszahlen ermittelt und dann auf die Schweizer Werte angesetzt werden. Für die Berechnung der Zeitwerte der Geschäftsfahrten wird der Median der Verhältnisse der Nichtpendlerwege zu den Geschäftsfahrten gewählt (PW: 1/2.3, ÖV: 1/3).

Ergebnisse der Studie

Aus den geschätzten Parametern lassen sich nun einkommens- und distanzabhängige Zeitwerte ermitteln. Die Abbildung 7 illustriert dies für das empfohlene Modell. Die Werte können für Einkommen zwischen CHF 10'000 und CHF 150'000 pro Jahr und Distanzen zwischen 10 und 100 Kilometern für den beschriebenen Weg angegeben werden. Dabei liegen die Werte für den PW erwartungsgemäss höher.

Für die durchschnittlichen Zeitkostenansätze der betrachteten Verkehrsmittel müssen die Zahlen entsprechend der Schweizer Weglängen- und der Einkommensverteilung nach Mikrozensus 2000 gewichtet werden, um repräsentativ zu sein (Abbildung 8).

Bei der nahe liegenden Annahme, dass die Weglängen- und der Einkommensverteilung sich nur marginal in den Jahren 2000 bis 2003 geändert hat und die Teilnehmer der Befragung im Jahr 2003 das Preisniveau des selben Jahres zugrunde gelegt haben, kann für eine spätere Fortschreibung der Ergebnisse ebenfalls das Jahr 2003 als Basis angesehen werden.

Diese hier vorgestellte, breit angelegte Studie liefert differenzierte, statistisch signifikante Planungsgrössen, die den Bedürfnissen der Schweizerischen Verkehrsplanung Rechnung tragen. Sie bilden eine wesentliche Datengrundlage für die geplante Schweizer Norm SN 671 800 zur Kosten-Nutzen-Analyse. Bei der Bearbeitung sind aber zusätzlich Themenbereiche berührt worden, die eine konzentrierte Einzelanalyse

Ausgabe	S+V 10/04
Autor	Axhausen, Abay, König
Rubrik	Fachartikel

erfordern. Dies war im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht möglich. Weiterer Forschungsbedarf wurde deshalb zu den folgenden Themen aufgedeckt: Das hier angewandte Verfahren zur Ermittlung der Bewertung von Zeitersparnissen bei Nutzfahrten zweckmässig und ausreichend. Methodisch könnte allerdings die Struktur der Zeitbewertung von Geschäftsfahrten durch eine separate Studie mit einer ausschliesslichen Stichprobe von Geschäftsfahrten noch umfassender analysiert werden. Weiterhin muss die Frage der Reisezeitbewertung bei Einkaufsfahrten im Zusammenhang mit Einkaufszentren im bei grenzüberschreitenden Preisgefälle oder bei Preisaktion bzw. Sonderangeboten von weit entfernten Verbrauchermärkten beantwortet werden. ■

Literatur

- Abay, G. und K. W. Axhausen (2000) Zeitkostenansätze im Personenverkehr: Vorstudie, SVI Forschungsberichte 42/00, Bundesamt für Strassen, Bern.
- Algers, S., J. Lindqvist und S. Wildert (1995) The national swedish value of time study, Bericht an Swedish Institute for Transport and Communications Analysis (SIKA), Stockholm.
- Axhausen, K.W. (2003) Skript zur Vorlesung Verkehrsplanung Teil Entscheidungsmodelle, Theorie, <http://gallium.ethz.ch/vrp/lesung/vpl5.pdf>, EHT Zürich, Zürich.
- Ben-Akiva, M.E. und S.R. Lerman (1985) Discrete Choice Analysis, MIT Press, Cambridge.
- Bierlaire, M., D. Bolduc und M. H. Godbout (2004) An Introduction to BIOGEME (Version 0.7) <http://roso.epfl.ch/mbi/biogeme/doc/tutorial.pdf>, Operations Research Group, EPF Lausanne, Lausanne.
- Domencich, T.A. und D. McFadden (1975) Urban Travel Demand: A Behavioural Analysis, North Holland, Amsterdam.
- Hague Consulting Group (1990) The Netherlands value of time study: Final report, Bericht an Rijkswaterstaat, Den Haag.
- Hague Consulting Group, Accent (1999) The value of travel time on UK roads 1994, Bericht an Departement of Transport, London.
- Jovicic, G. und C. O. Hansen (2003) A passenger travel demand model for Copenhagen, Transportation Research A, 37 (2) 333-349.
- König, A., K.W. Axhausen und G. Abay (im Druck) Zeitkostenansätze im Personenverkehr: Hauptstudie, Forschungsauftrag SVI 534/01, Schriftenreihe, Bundesamt für Strassen, UVEK, Bern.
- 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, Bericht an Department for Transport, Institute for Transport Studies, University of Leeds und John Bates Services, Leeds.
- Pursula, M. (1996) Scandinavian VoT Studies: Finland, Vortrag bei Seminar on Value of Time, Berkshire.
- Ramjerdi, F., L. Rand, I. Saestermo und K. Saelensminde (1997) The Norwegian Value of Time Study, TOI Report, 397, Norwegian Centre for Transport Research, Oslo.
- Vrtic, M., K.W. Axhausen, R. Maggi und F. Rossera (2003) Verifizierung von Prognosemethoden im Personenverkehr, Bericht an SBB und Bundesamt

Ausgabe	S+V 10/04
Autor	Axhausen, Abay, König
Rubrik	Fachartikel

für Raumentwicklung (ARE), IVT, ETH Zürich und
USI Lugano, Zürich und Lugano.



* Arnd König, Dipl. Ing., Institut für Verkehrsplanung und
Transportsysteme IVT, ETH, Zürich



* Kay W. Axhausen, Prof. Dr. , Institut für
Verkehrsplanung und Transportsysteme IVT, ETH, Zürich



* Georg Abay, Dr. oec. publ., Rapp Trans AG, Zürich

Ausgabe	S+V 10/04
Autor	Axhausen, Abay, König
Rubrik	Fachartikel

Zeitkostenansätze in der Praxis

Die Ergebnisse der vorgestellten Studie sollen als Planungsgrössen verstanden werden, die den Bedürfnissen der Schweizerischen Verkehrsplanung Rechnung tragen. Aus der Studie hervorgegangen ist ein Entwurf für die geplante Schweizer Norm SN 671 802 Zeitwerte im Personenverkehr. Diese Norm ist als Zusatz zur Grundlagennorm SN 671 800 Kosten-Nutzen-Analyse zu verstehen. Gegenstand der Zeitkostennorm ist die Zahlungsbereitschaft für Reisezeitveränderungen. Die Studie hat insbesondere signifikante Unterschiede bei der Bewertung von Reisezeitersparnissen durch Reisende im motorisierten Individualverkehr und im öffentlichen Verkehr festgestellt. Ebenfalls konnten differenzierte Werte für Pendlerfahrten, Einkaufsfahrten, Nutzfahrten sowie touristische Fahrten jeweils aufgeschlüsselt nach Einkommens- und Fahrtweitenverteilung zur Berechnung des monetarisierten Nutzens von Reisezeitersparnissen bei Infrastrukturvorhaben ermittelt werden. Die Preise beziehen sich auf das Jahr 2003.

Die neue Norm kann je nach Detaillierungsgrad des Mengengerüsts bei Infrastrukturvorhaben angewandt werden. Kern der Norm sind Werte der Zahlungsbereitschaften getrennt nach Einkommen- und Fahrtweite. Diese Matrizen enthalten auch die entsprechenden Randsummen, respektive Gesamtmittelwerte. Die Matrizen sind getrennt für die genannten Wegezwecke und Verkehrsmittel ausgewiesen. Zusätzlich werden gemittelte Werte für beide Verkehrsmittel zur Verfügung gestellt. Für die Anwendung der Zahlen können die folgenden Fälle unterschieden werden:

1. Stehen keine Details zur Verteilung der Wegezwecke, zur Einkommens- und Fahrtweitenverteilung zur Verfügung können die gemittelten Zeitwerte über alle Wegezwecke getrennt für beide Verkehrsmittel zur Anwendung kommen.
2. Liegt eine Verteilung der Wegezwecke vor, stehen aber keine Details zur Einkommens- und Fahrtweitenverteilung zur Verfügung, können mittlere Zeitwerte für die jeweiligen Wegezwecke genutzt werden.
3. Sind die Verteilungen der Wegezwecke und der Fahrtweiten bekannt, stehen aber keine Details zur Einkommensverteilung oder zur Fahrtweitenverteilung zur Verfügung, dienen entsprechende Randverteilungen der Matrizen über die gemittelten Einkommen oder die gemittelten Fahrtweiten der Ermittlung des finanziellen Nutzens.
4. Sind im Idealfall die Verteilungen der Wegezwecke, der Fahrtweiten und der Einkommen bekannt, so kann der hohe Detaillierungsgrad der Ergebnisse der Studie in vollem Umfang genutzt werden. Ein Beispiel soll die Anwendung des Zahlenwerks veranschaulichen: Für den Neubau einer Umfahrungsstrasse sind die Anteile der Wegezwecke und eine mittlere Fahrtweite über alle Zwecke von 30 km bekannt. Durch Interpolation der Randsummen der Distanzklassen 25 bis 30 km und 30 bis 35 km in den entsprechenden Matrizen erhält man die Kostensätze pro Stunde, Verkehrsmittel und Fahrtzweck. Ein pauschaler Kostensatz kann anschliessend gemäss den Anteilen der Wegezwecke berechnet werden.

Ausgabe	S+V 10/04
Autor	Axhausen, Abay, König
Rubrik	Fachartikel



1: Zeitkostenansätze sind auch für die Modellierung des Verkehrsverhaltens unerlässlich.

PW		Bahn	
Reisekosten:	13 Fr.	Reisekosten:	23 Fr.
Gesamtfahrzeit:	30 Min.	Gesamtfahrzeit:	20 Min.
davon in stop and go:	5 Min.	Takt:	30 Min.
davon freie Fahrt:	25 Min.	Anzahl Umsteigen:	0-mal
<input type="checkbox"/>		→ Ihre Wahl ®	<input type="checkbox"/>

2: SP-Experiment, Beispiel Verkehrsmittelwahl

Ausgabe	S+V 10/04
Autor	Axhausen, Abay, König
Rubrik	Fachartikel

BerichtetesV erkehrsmittel	PW verfügbar	VMW PW- Bahn	VMW PW-Bus	RW PW	RW Bus	RW Bahn	Rücklauf nach Anzahl FB	Rücklauf relativ
Anzahl der versandten Experimente							Rücklauf	
PW	ja	6		6			473	52.2%
PW	ja	6				9	229	48.6%
Bahn	ja	6				9	262	65.7%
Bahn	nein					9	127	50.2%
Bus/Tram	ja		6		9		80	54.4%
Bus/Tram	nein				9		54	37.7%
Rücklauf nach Entscheidungstyp Anzahl Fragebögen		964	80	473	134	618	1222	52.7%

3: Anzahl der versandten Experimente je Fragebogen
und Rücklauf je Kombination

$$\begin{aligned}
 U_{\text{ÖV}} &= \beta_{\text{Rk}} [\sigma_{\text{Rk}}] * (\text{Eink./80000})^{\text{EK}} * (\text{Weglänge/43})^{\text{EWI}} * \text{Reisekosten} + \\
 & (\beta_{\text{Rz ÖV P}} * \text{Zweck P} + \beta_{\text{Rz ÖV E}} * \text{Zweck E} + \beta_{\text{Rz ÖV G}} * \text{Zweck G} + \beta_{\text{Rz ÖV F}} * \text{Zweck F}) * \text{Reisezeit ÖV} + \\
 & \beta_{\text{AU}} * \text{Anz. Umstiege} + \beta_{\text{T}} * \text{Takt} \\
 U_{\text{PW}} &= a_{\text{PW}} + \\
 & \beta_{\text{Rk}} [\sigma_{\text{Rk}}] * (\text{Eink./80000})^{\text{EK}} * (\text{Weglänge/43})^{\text{EWI}} * \text{Reisekosten} + \\
 & (\beta_{\text{Rz PW P}} * \text{Zweck P} + \beta_{\text{Rz PW E}} * \text{Zweck E} + \beta_{\text{Rz PW G}} * \text{Zweck G} + \beta_{\text{Rz PW F}} * \text{Zweck F}) * \text{Reisezeit PW} + \\
 & b_{\text{HT}} * \text{Halbtaxbesitz} + b_{\text{GA}} * \text{GA-Besitz} + b_{\text{PW Verf.}} * \text{PW verfügbar} + \\
 & b_{\text{Wahl PW (KEP)}} * \text{Wahl des PW im berichteten KEP-Weg}
 \end{aligned}$$

Anm.: *Kursive Terme* nur bei Verkehrsmittelwahlmodellen

4: Nutzenfunktion der empfohlenen kombinierten Routen-
und Verkehrsmittelwahl

Ausgabe	S+V 10/04
Autor	Axhausen, Abay, König
Rubrik	Fachartikel

Modelltyp		Verkehrsmittelwahl	Routenwahl	Kombination		
Modell Charakteristika						
N		5784	8400	14184		
L (C) bzw. L (0)		-3701	-5822	-9831		
L (β)		-2044	-4505	-6576		
LL – Ratio Test		3314	2636	6510		
ρ^2		0.447	0.226	0.331		
Skalierungsparameter			Koeff.	t-Test*	Koeff.	t-Test*
Verkehrsmittelwahl					0.657	-8.57
Routenwahl PW			1.819	3.10	1.389	2.47
Routenwahl Bahn (von PW-Fahrern)			0.973	1.19	1.049	0.83
Referenz RW Bahn (von Bahn-Fahrern)			1.000		1.000	
* Für $\beta \neq 1.000$						
Verhältniszahlen						
Zeitwert Bahn Pendeln	CHF/h	32.1	19.3		23.9	
Zeitwert Bahn Einkauf	CHF/h	17.3	20.7		19.4	
Zeitwert Bahn Freizeit	CHF/h	16.4	10.8		13.5	
Zeitwert PW Pendeln	CHF/h	41.2	27.2		29.9	
Zeitwert PW Einkauf	CHF/h	25.9	27.9		25.4	
Zeitwert PW Freizeit	CHF/h	21.9	16.9		17.2	

5: Empfohlene Modelle

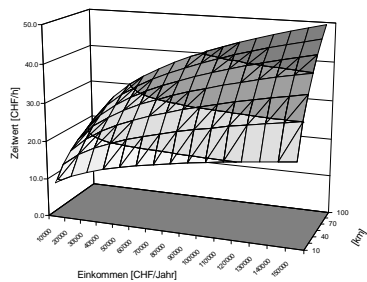
Ausgabe	S+V 10/04
Autor	Axhausen, Abay, König
Rubrik	Fachartikel

Modelltyp		Verkehrsmittelwahl	Routenwahl	Kombination		
Modell Charakteristika						
N		5784	8400	14184		
L (C) bzw. L (0)		-3701	-5822	-9831		
L (β)		-2044	-4505	-6576		
LL – Ratio Test		3314	2636	6510		
ρ^2		0.447	0.226	0.331		
Skalierungsparameter			Koeff.	t-Test*	Koeff.	t-Test*
Verkehrsmittelwahl					0.657	-8.57
Routenwahl PW			1.819	3.10	1.389	2.47
Routenwahl Bahn (von PW-Fahrern)			0.973	1.19	1.049	0.83
Referenz RW Bahn (von Bahn-Fahrern)			1.000		1.000	
* Für $\beta \neq 1.000$						
Verhältniszahlen						
Zeitwert Bahn Pendeln	CHF/h	32.1	19.3		23.9	
Zeitwert Bahn Einkauf	CHF/h	17.3	20.7		19.4	
Zeitwert Bahn Freizeit	CHF/h	16.4	10.8		13.5	
Zeitwert PW Pendeln	CHF/h	41.2	27.2		29.9	
Zeitwert PW Einkauf	CHF/h	25.9	27.9		25.4	
Zeitwert PW Freizeit	CHF/h	21.9	16.9		17.2	

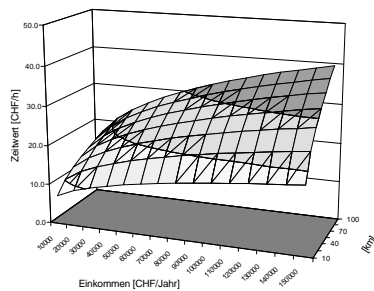
6: Empfohlene Modelle

Ausgabe	S+V 10/04
Autor	Axhausen, Abay, König
Rubrik	Fachartikel

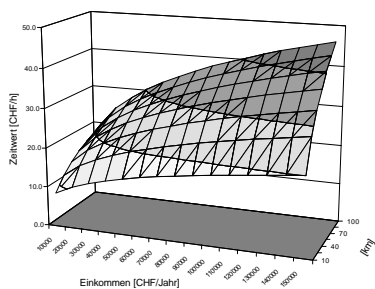
Pendler: PW:



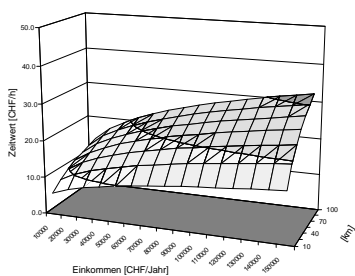
ÖV:



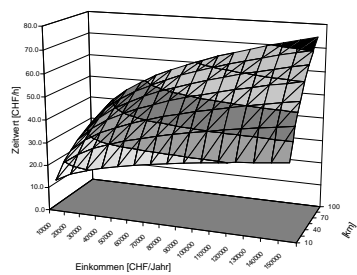
Einkaufsfahrt: PW:



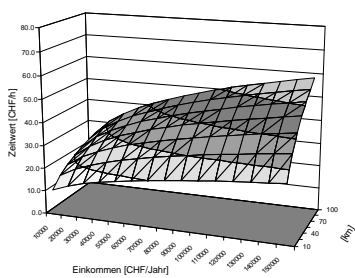
ÖV:



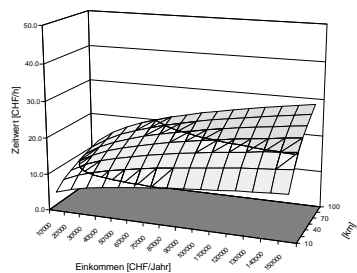
Geschäftsfahrt: PW:



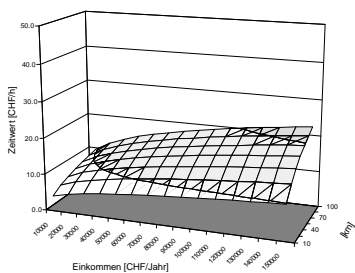
ÖV:



Freizeitfahrt: PW:



ÖV:



7: Funktionen der geschätzten Zeitkosten nach Verkehrsmittel und Wegezweck, kombiniertes Modell

Ausgabe	S+V 10/04
Autor	Axhausen, Abay, König
Rubrik	Fachartikel

Zweck	Pendeln		Einkauf		Geschäftlich		Freizeit		Alle Zwecke	
PW	21.4	(2.9)	18.1	(3.7)	32.5	(*)	12.3	(0.8)	18.2	(2.1)
ÖV	17.7	(1.8)	13.8	(2.1)	30.3	(*)	9.7	(0.5)	14.9	(1.3)

* Aus methodischen Gründen konnten keine Varianzen für Zeitwerte von Geschäftsfahrten berechnet werden.

8: Empfohlene mittlere Zeitwerte und Varianzen in (Klammer) [CHF/h] für 2003, gewichtet nach Einkommen und Fahrtweiten des Microzensus 2000