

# **Einfluss der Verlässlichkeit der Verkehrssysteme auf das Verkehrsverhalten**

**The impact of the reliability of transport systems  
on travel behaviour**

**Influence de la reliabilité des systèmes de transport  
sur le comportement**

## **Zusammenfassung d, f, e**

**TransSol GmbH  
Philipp Fröhlich**

**TransOptima GmbH  
Claude Weis  
Milenko Vrtic**

**büro widmer ag  
Paul Widmer  
Philippe Aemisegger**

**Forschungsauftrag SVI 2010/003 auf Antrag der Schweizerischen  
Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI)**

**Juli 2014**

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Verlässlichkeit bzw. die Variabilität der Reisezeiten ist ein wichtiges Kriterium für die Bewertung eines Verkehrsangebotes. Sie beeinflusst das Verkehrsverhalten, insbesondere die Verkehrsmittel- und Routenwahl. Durch die erhöhte Auslastung der Verkehrsinfrastruktur steigen die Stauhäufigkeit im Strassenverkehr und die Instabilität des ÖV-Systems. Dadurch gewinnt die Bewertung der Verlässlichkeit sowohl bei der Projektevaluation als auch bei Nachfrageprognosen an Bedeutung.

Das Ziel der Forschungsarbeit ist die empirische Ermittlung des Einflusses der Verlässlichkeit auf das Verkehrsverhalten und die Zahlungsbereitschaften für unterschiedliche Fahrtweiten und -zwecke.

Die Forschungsarbeit beschreibt verschiedene aus der Literatur bekannte Modellansätze für die Bewertung der Verlässlichkeit, welche in der Regel auf der Basis von SP (Stated preference)-Experimenten geschätzt werden. Die in der Literatur berichteten Zahlungsbereitschaften für die Vermeidung von Verfrühungen und Verspätungen weichen voneinander ab, was neben den unterschiedlichen Modellansätzen auch auf die unterschiedlichen Designs der SP-Experimente zurückzuführen sein dürfte.

In der vorliegenden Forschungsarbeit wurde zur Gewinnung der für die Modellierung notwendigen Daten eine zweistufige Erhebung mit einer RP (Revealed preference)- und einer SP-Befragung durchgeführt. Aus einem bestehenden Panel wurden 5'756 Zielpersonen älter als 18 Jahre gezogen, welche in der letzten Zeit Wege von über 3 km mit dem Auto oder dem ÖV zurückgelegt haben.

In der RP-Befragung konnten von 2'061 Personen ausgefüllte Fragebogen mit Angaben zu den soziodemographischen Eigenschaften und einem kürzlich durchgeführten Weg gewonnen werden. Die Abfrage nach den Fahrtzwecken wurde so gesteuert, dass für jeden Fahrtzweck eine genügend grosse Stichprobe gewonnen werden konnte.

Im Vergleich zu den als repräsentativ geltenden Daten des MZMV (Mikrozensus Mobilität und Verkehr) 2010 weist die Soziodemographie dieser Stichprobe Verzerrungen auf. So sind z.B. Gutverdienende, Leute mit einer höheren Ausbildung und Besitzer von ÖV-Abonnements deutlich übervertreten. Diese Verzerrung wurde aber durch die Berücksichtigung der entsprechenden Variablen bei der Schätzung der Entscheidungsmodelle und durch eine Gewichtung der Ergebnisse korrigiert.

Im Hinblick auf die SP-Befragung wurden zu den berichteten Wegen die Eigenschaften der verfügbaren Verkehrsmittelalternativen ermittelt. Da dies wegen mangelnder Angaben im Fragebogen nicht für alle Befragten möglich war, verblieben 1'859 Personen für die im nächsten Schritt durchgeführten SP-Befragungen.

Es wurden insgesamt 4 SP-Experimente durchgeführt: eines für die Verkehrsmittelwahl, eines für die Routenwahl im MIV, eines für die Verbindungswahl im ÖV ohne Umsteigen auf die Bahn und eines für die Verbindungswahl im ÖV mit Umsteigen auf die Bahn. Jeder Testperson wurden zwei SP-Experimente mit je 6 Entscheidungssituationen vorgelegt. Die Entscheidungssituationen sind individualisiert und nehmen Bezug auf den von der befragten Person in der RP-Befragung berichteten Weg. Neben der planmässigen Ankunftszeit (gemäss Fahrplan im ÖV bzw. Angabe des Befragten im MIV), der Reisezeit und den Fahrtkosten wird dabei insbesondere die Zuverlässigkeit der Reisezeit variiert; im MIV durch je drei verschiedene Ausprägungen der Stauwahrscheinlichkeit und der mittleren Staudauer, im ÖV durch die Wahrscheinlichkeit von Abweichungen einer bestimmten Zeitdauer (in Prozent der in der RP-Befragung angegebenen Toleranz) von der planmässigen Ankunftszeit.

Mit den aus den Befragungen gewonnenen Daten konnten aussagekräftige fahrtzweckspezifische Modelle und ein gemeinsames Modell mit nichtlinearen Variablen (Interaktionsterme mit Distanz bzw. Einkommen) geschätzt werden. Hierbei konnte erstmals ein Ansatz mit Unterscheidung zwischen planmässigen und unplanmässigen (zufälligen) Verfrühungen und Verspätungen getestet werden, was eines der ausgewiesenen Ziele der Forschungsarbeit war. Dieser Ansatz hat sich zudem bewährt und zu plausiblen und robusten Ergebnissen geführt.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die aus den Modellergebnissen ermittelten gewichteten Zahlungsbereitschaften für die hier relevanten Attribute. Darunter versteht man die monetäre Bewertung einer Einsparung bei einem bestimmten Attribut. Zum Beispiel beträgt die mittlere Zahlungsbereitschaft für die Einsparung einer Stunde Fahrtzeit mit dem MIV 14.6 CHF.

*Mittlere Zahlungsbereitschaften [CHF pro Einheit]*

Attribut		Arbeit	Ausbildung	Einkauf	Nutzfahrt	Freizeit	Alle Zwecke
MIV	Fahrtzeit [h]	18.8	17.0	9.1	22.9	12.9	14.6
	Planmässige Verspätung [h]	9.8	4.9	4.6	14.8	6.2	7.5
	Planmässige Verfrühung [h]	4.1	2.9	1.8	4.7	2.9	3.1
	Unplanmässige Verspätung [h]	23.3	18.5	16.0	42.4	23.5	22.9
	Unplanmässige Verfrühung [h]	4.5	3.1	2.5	4.0	3.1	3.5
	Verspätungswahrscheinlichkeit [%]	1.3	1.0	0.6	1.6	1.0	1.0
ÖV	Fahrtzeit [h]	13.3	10.2	5.9	18.1	9.1	10.7
	Zu- und Abgangszeit [h]	16.3	13.0	5.5	15.5	11.4	12.8
	Anzahl Umsteigevorgänge [-]	2.1	0.7	1.0	3.0	1.8	1.7
	Planmässige Verspätung [h]	5.1	6.1	2.1	16.6	4.1	4.7
	Planmässige Verfrühung [h]	6.1	4.0	2.3	10.0	3.9	4.8
	Unplanmässige Verspätung [h]	22.8	21.0	6.6	70.7	17.3	19.7
	Verspätungswahrscheinlichkeit [%]	2.0	1.3	0.7	3.4	1.3	1.6
	Anschlussicherheit [%]	10.6	12.2	7.7	19.2	10.7	10.5

Die aus diesen Modellen ableitbaren Zusammenhänge bestätigen die Ergebnisse früherer Studien in der Tendenz weitgehend:

- Die Zeitwerte nehmen mit der Distanz zu, und dies am stärksten für Arbeitspendler- und Nutzfahrten.
- Die Zeitwerte im MIV sind höher als jene im ÖV.
- Die Zahlungsbereitschaften für Verlässlichkeit und für planmässige Ankunftszeit sind im MIV etwas höher als im ÖV.
- Die Zahlungsbereitschaft für die Vermeidung von Verspätungen ist deutlich höher als jene für die Vermeidung von Verfrühungen (die geschätzten Modell-Parameter für letztere erwiesen sich als knapp nicht signifikant).
- Die Zahlungsbereitschaft für die Vermeidung von unplanmässigen Verspätungen ist je nach Fahrtzweck um den Faktor 1.1 bis knapp 2.0 (für Nutzfahrten im ÖV sogar um den Faktor 3.5) höher als jene für die Verkürzung der Fahrtzeit.
- Bei den Zahlungsbereitschaften (sowohl für die Fahrtzeit als auch für die Verlässlichkeit) zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Fahrtzwecken; diese sind im Nutzfahrt- und Pendlerverkehr am höchsten.
- Im ÖV besteht eine relativ hohe Zahlungsbereitschaft, um das Risiko, einen Anschluss zu verpassen, zu senken.

Im Vergleich zu früheren Studien liegen die hier ermittelten Zeitwerte um rund ein Drittel tiefer, namentlich auch gegenüber den in der VSS-Norm SN 641 822a – Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr: Zeitkosten im Personenverkehr – ausgewiesenen Werten. Dies kann auf unterschiedliche Modellansätze und auf Unterschiede in den Erhebungsdaten zurückzuführen sein.

Um zu verlässlicheren Schätzungen aller hier betrachteten Kennwerte zu gelangen und somit die eventuellen Wahrnehmungsunterschiede zu reduzieren, welche durch die Formulierung der Befragung verursacht werden könnten, wird empfohlen, eine gemeinsame Schätzung von Modellen mit allen in den letzten Jahren in der Schweiz erhobenen SP-Stichproben durchzuführen.

## RÉSUMÉ

La fiabilité resp. variabilité des temps de parcours est un critère important pour l'évaluation de l'offre de transport. Elle influence le comportement en matière de transports, particulièrement le choix des moyens de transport et des itinéraires. La charge de l'infrastructure de transport augmente le risque d'embouteillages sur la route et l'instabilité du système des transports publics. Ainsi, l'évaluation de la fiabilité devient de plus en plus importante pour les évaluations de projets et pour les pronostics de la demande.

Le but du projet de recherche est la détermination empirique de l'influence de la fiabilité sur le comportement en matière de transports et les propensions à payer, relatifs aux différentes longueurs et motifs de trajet.

Le rapport décrit différentes approches connues pour l'évaluation de la fiabilité, qui sont normalement estimées sur la base de données SP (*stated preference*). Les propensions à payer pour éviter des arrivées précoces ou tardives rapportées par la littérature divergent entre elles, ces différences pouvant être en partie attribuées aux différentes approches des modèles choisis ainsi qu'aux différentes conceptions des sondages SP.

Afin d'obtenir les données nécessaires à la modélisation, un sondage à deux niveaux a été conduit. Le sondage consiste en une première partie sur le comportement actuel (RP – *revealed preference*) et une deuxième partie sur le comportement adapté à des situations hypothétiques (SP). Un échantillon de 5'756 personnes âgées de plus de 18 ans a été tiré au sein d'un sondage panel existant. Ces personnes doivent dernièrement avoir conduit des trajets de plus de 3 km en voiture ou en transports publics.

Dans le sondage RP, 2'061 personnes ont rapporté leurs données sociodémographiques ainsi que des données sur un trajet récent. Les motifs de transport relevés ont été contrôlés afin d'obtenir un échantillon suffisant pour chacun des motifs.

L'échantillon accuse des biais par rapport au microrecensement mobilité et transports 2010, considéré comme représentatif. Par exemple, l'échantillon contient un surplus de personnes à revenu et éducation élevés et qui possèdent des abonnements pour les transports publics. Ces biais sont néanmoins compensés par l'inclusion des variables correspondantes lors de l'estimation des modèles et par une pondération lors de l'extrapolation des résultats.

En vue des sondages SP, les propriétés des alternatives disponibles (moyens de transports) ont été relevées pour tous les trajets rapportés. Comme des données manquantes ont rendu impossible cette démarche pour une partie des personnes, l'échantillon restant pour le sondage SP s'élève à 1'859 personnes.

En total, 4 types de scénarios SP ont été présentés aux sondés: un pour le choix d'un moyen de transport, un pour le choix d'un itinéraire en transport individuel motorisé, un pour le choix d'un itinéraire en transports publics sans changement entre transport urbain et rail, et un pour le choix d'un itinéraire en transports publics avec changement entre transport urbain et rail. Chaque personne sondée a été soumise à 6 scénarios différents de deux de ces types (soit 12 scénarios en total). Les scénarios sont individuels et se réfèrent au trajet rapporté par la personne lors du sondage RP. Hors des variables standard comme le temps de parcours ou le temps d'arrivée prévu (selon l'horaire en transports publics resp. les données relevées en transport individuel motorisé), les attributs relevés se concentrent sur la fiabilité des moyens de transport: en transport individuel motorisé, on présente une probabilité et une durée moyenne d'embouteillage; en transports publics, des probabilités de divergence d'une durée donnée par rapport au temps d'arrivée préféré.

Les données relevées lors des sondages ont permis d'estimer des modèles de choix spécifiques aux différents motifs de transport et un modèle commun comportant tous les motifs. Ces modèles utilisent une fonction non linéaire (termes d'interaction avec la distance et le revenu). Pour la première fois en Suisse, des fonctions différenciant entre des variations prévues (selon l'horaire donnée) et imprévues des arrivées; ceci était l'un des buts les plus importants du projet. Cette approche flexible s'est avérée comme bonne pratique et a mené à des résultats plausibles.

Le tableau suivant donne le relevé des propensions à payer moyennes pondérées issues des résultats des modèles. On y entend l'évaluation monétaire de la réduction d'un certain attribut. Par exemple, la propension à payer moyenne pour réduire le temps de parcours en voiture d'une heure s'élève à 14.6 CHF.

*Dispositions à payer moyennes [CHF par unité]*

Attribut		Travail	Éducation	Achats	Activité professionnelle	Loisirs	Tous motifs
TIM	Temps de parcours [h]	18.8	17.0	9.1	22.9	12.9	14.6
	Retard prévu [h]	9.8	4.9	4.6	14.8	6.2	7.5
	Arrivée précoce prévue [h]	4.1	2.9	1.8	4.7	2.9	3.1
	Retard non prévu [h]	23.3	18.5	16.0	42.4	23.5	22.9
	Arrivée précoce non prévue [h]	4.5	3.1	2.5	4.0	3.1	3.5
	Probabilité d'un retard non prévu [%]	1.3	1.0	0.6	1.6	1.0	1.0
TP	Temps de parcours [h]	13.3	10.2	5.9	18.1	9.1	10.7
	Temps d'accès et de sortie [h]	16.3	13.0	5.5	15.5	11.4	12.8
	Nombre de changements [-]	2.1	0.7	1.0	3.0	1.8	1.7
	Retard prévu [h]	5.1	6.1	2.1	16.6	4.1	4.7
	Arrivée précoce prévue [h]	6.1	4.0	2.3	10.0	3.9	4.8
	Retard non prévu [h]	22.8	21.0	6.6	70.7	17.3	19.7
	Arrivée précoce non prévue [h]	2.0	1.3	0.7	3.4	1.3	1.6
	Probabilité d'un retard non prévu [%]	10.6	12.2	7.7	19.2	10.7	10.5

Tendanciellement, les modèles confirment en plupart les relations fonctionnelles d'études antérieures:

- Les valeurs du temps de parcours (propensions à payer) augmentent avec la distance, et cette augmentation est la plus forte pour les trajets pendulaires et professionnels.
- Les valeurs du temps de parcours sont plus élevés en transport individuel motorisé.
- Les propensions à payer pour un trajet plus fiable et pour une heure d'arrivée prévue proche de l'heure préférée sont plus élevées en en transport individuel motorisé qu'en transport publics.
- La propension à payer pour éviter un retard est nettement plus élevée que celle pour éviter une arrivée précoce (les paramètres estimés pour cette dernière ne s'avérant que faiblement significative).
- En fonction des motifs de transport, la propension à payer pour éviter un retard non prévu est supérieure à la valeur du temps de parcours d'un facteur 1.1 à 2.0 (ce facteur augmente à 3.5 pour les déplacements professionnels).
- Les propensions à payer (autant pour les temps de parcours que pour la fiabilité) diffèrent nettement pour les différents motifs de transport, et sont les plus élevées pour des déplacements pendulaires et professionnels.
- En transports publics, il existe une propension à payer très élevée pour réduire le risque de rater une connexion entre le transport urbain et le rail.

Les propensions à payer relevées ici sont moins élevées que celles rapportées dans des études antérieures (d'un tiers par rapport aux valeurs de la norme SN 641 822a – Analyses coûts/avantages du trafic routier; coûts horaires du transport de personnes). Cette circonstance est attribuable aux différentes approches de modélisation et à des différences dans les données utilisées.

Afin d'aboutir à des estimations plus robustes et fiables de toutes les valeurs caractéristiques et de réduire les effets éventuels que des différences de perception dans les différents sondages pourraient avoir eu, il est recommandé de procéder à une estimation de modèles communs sur la base de l'ensemble des données SP relevées en Suisse durant les dernières années.

## SUMMARY

The reliability and variability of travel time significantly affect transport behaviour, in particular transport mode and route choice. Growing transport demand is increasing the frequency of roadway congestion and public transport schedule unreliability. Therefore it is important to carefully assess travel time reliability in project evaluation and demand forecasting.

The goal of this research was to investigate empirically the influence of reliability on transport behaviour and willingness to pay for a variety of trip lengths and purposes.

Most of the existing literature on the evaluation of reliability is based on stated preference (SP) experiments. These studies estimated the willingness to pay for avoiding early arrivals and delays. There is some variation in the estimates found in these earlier studies that may be caused by different modelling approaches and also differing design of the SP experiments.

In this research, a two-stage method was used to collect the necessary modelling data. First, a revealed preference (RP) survey was conducted and then an SP survey was conducted. An existing database was used to select 5,756 persons over 18-years old who travelled over 3-km by automobile or public transport for the survey.

In the RP survey 2,061 people completed the questionnaire providing socio- demographic characteristics and information on a recent trip. The data were controlled so that there was a sufficiently large sample of responses for all trip purposes.

The socio-demographic characteristics of this sample differed from the 2010 Swiss Microcensus of Mobility and Transport (MZMV). For example, higher income earners, people with a college education and public transport users were significantly over represented in the sample. This distortion was controlled by considering the corresponding variables in the estimation of decision models and by reweighting the results.

For the SP survey, the characteristics of the possible alternative mode were determined. The SP survey was sent to 1,859 people since some of the returned RP survey questionnaires provided insufficient information.

A total of four SP experiments were performed: one for transport mode choice, one for automobile route selection, one for public transport without transferring to rail, and one for public transport including a transfer to rail. Each subject was presented with two SP experiments; each experiment consisted of 6 decision situations. The decision-making situations were developed for the specific individual based on path information provided in their RP survey. The SP survey provided: planned arrival time (dictated by the schedule in public transport, resp. by the respondent's specification in car travel), travel time, travel costs, and, travel time reliability. The travel time reliability was varied by providing different congestion probability and average congestion times (delay) for automobile travel and by providing the probability of delays (in minutes) from scheduled arrival time for public transport travel (delays were a percentage of the specified tolerance from the RP survey).

The data obtained from these surveys was used to develop trip purpose specific behaviour models. It was also possible to estimate a common model with non-linear variables (interaction terms based on distance or income). The model results are plausible and robust. In short, the researchers successfully achieved their research objective, testing the difference between planned and unplanned (stochastic) late/early arrivals.

The following table provides an overview of the weighted mean willingness-to-pay (WTP) values for the relevant attributes. These values represent the monetary valuations of reducing the corresponding attribute. For example, the willingness-to-pay for a one hour reduction in car travel time amounts to 14.6 CHF.



*Mean willingness-to-pay values [CHF per unit]*

Attribute		Purpose					
		Work	Education	Shopping	Business	Leisure	All purposes
MPT	Travel time [h]	18.8	17.0	9.1	22.9	12.9	14.6
	Planned late arrival [h]	9.8	4.9	4.6	14.8	6.2	7.5
	Planned early arrival [h]	4.1	2.9	1.8	4.7	2.9	3.1
	Unplanned late arrival [h]	23.3	18.5	16.0	42.4	23.5	22.9
	Unplanned early arrival [h]	4.5	3.1	2.5	4.0	3.1	3.5
	Probability of unplanned late arrival [%]	1.3	1.0	0.6	1.6	1.0	1.0
PT	Travel time [h]	13.3	10.2	5.9	18.1	9.1	10.7
	Access and egress time [h]	16.3	13.0	5.5	15.5	11.4	12.8
	Number of transfers [-]	2.1	0.7	1.0	3.0	1.8	1.7
	Planned late arrival [h]	5.1	6.1	2.1	16.6	4.1	4.7
	Planned early arrival [h]	6.1	4.0	2.3	10.0	3.9	4.8
	Unplanned late arrival [h]	22.8	21.0	6.6	70.7	17.3	19.7
	Unplanned early arrival [h]	2.0	1.3	0.7	3.4	1.3	1.6
	Probability of unplanned late arrival [%]	10.6	12.2	7.7	19.2	10.7	10.5

The main findings, derived from the research and results of previous studies, are:

- The value of travel time savings increases with travel distance; this is most true for work and commercial trips;
- The value of travel time savings for automobile users is higher than for public transport users.
- The willingness to pay for reliability and for arriving on schedule are slightly higher for automobile travel than for public transport.
- The willingness to pay for avoiding delays is significantly higher than for preventing early arrivals (the estimated model parameters for preventing early arrivals were much less significant).
- The willingness to pay for avoiding unplanned delays compared reducing travel time varied depending on trip purpose. The factor ranged from 1.1 to 2.0 (and was 3.5 for commercial trips on public transport).
- The willingness to pay for travel time reductions and reliability differs based on trip purpose. The highest values were found for commercial and commuter trips.
- In public transport, there is a very high willingness to pay to reduce the risk of missing a connection.

The values found in this research are approximately one-third lower than values presented in previous studies including those reported in the VSS-norm (SN 641 822a – Cost benefits analysis in road transport, Value of Time in Passenger Transport). These differences may be due to different modelling approaches and/or to differences in the survey data.

In order to arrive at reliable estimates for the characteristics considered in this research and to reduce the possible differences that could be caused by the survey wording, we recommend that the models developed in this research be jointly estimated using results of all the sample SP surveys made in Switzerland in recent years.