

## Methodenvergleich für die Schätzung von Nachfrageelastizitäten

Milenko Vrtic, Dipl.-Ing. SVI, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau (IVT), ETH Zürich

Die meisten vorhandenen Untersuchungen zu Nachfrageelastizitäten basieren auf einer Datenbasis, die nicht gezielt für die Ermittlung von Elastizitäten erhoben wurde. Die daraus berechneten Elastizitäten sind mit Unsicherheiten behaftet und daher eingeschränkt in ihrer Nutzbarkeit. Vor diesem Hintergrund werden in der jüngeren Vergangenheit neben Revealed-Preference- auch Stated-Preference-Erhebungen zur Schätzung der Nachfragereaktionen durchgeführt. Eine Analyse ihrer Möglichkeiten und Grenzen soll die methodische Grundlage für zukünftige Schätzungen von Nachfrageelastizitäten aufzeigen.

Verkehrselastizitäten für den Personenverkehr in der Schweiz sind zuletzt im Jahre 1989/90 in einer Studie [3] für den Dienst für Gesamtverkehrsfragen errechnet worden. Inzwischen wurden auch einige Untersuchungen über Nachfrageelastizitäten im öffentlichen Personenverkehr [1, 7] erstellt. Vor dem Hintergrund der Bedeutung dieser Fragestellungen für die Strategieplanung und auf der Basis aller verfügbaren neueren Daten wurde im Auftrag der Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure (SVI) und dem Bundesamt für Strassen (ASTRA) eine Aktualisierung der Elastizitäten für den schweizerischen Personenverkehr durchgeführt [9]. Mit der vorliegenden Studie soll die Tradition früherer Untersuchungen in der Schweiz fortgesetzt werden, wobei die Untersuchungsmethodik durch neue Methoden ergänzt wird, deren Anwendbarkeit auf schweizerische Verhältnisse zu prüfen ist und deren Anwendungsbedingungen festzulegen sind. Damit werden neben den Schätzungen von Elastizitäten auf der Basis der vorhandenen empirischen Datengrundlagen (*klassische Elastizitäten*) auch die Möglichkeiten der "Stated-Preference"-Methode (SP) für die Ermittlung von Nachfragereaktionen aufgezeigt. Die aus der empirischen Datengrundlage berechneten Elastizitäten sollen eine Grundlage für verschiedene verkehrspolitische Massnahmen darstellen, für welche zumindest erste Hinweise auf Nachfragewirkungen geschätzt werden.

### Klassische Methode für die Berechnung von Nachfrageelastizitäten

Für die plausible Berechnung von Nachfrageelastizitäten ist eine geeignete Datengrundlage die wesentliche Voraussetzung. Es wurde versucht, aus mehreren Datenquellen sowie anhand von verschiedenen Methoden Elastizitäten zu ermitteln, die zeigen sollen, wie verlässlich und stabil sie auf unterschiedliche Zeiträume, Datenquellen und berücksichtigte Variablen reagieren. Aus der Definition von Elastizitäten als Quotienten der relativen Änderung einer Wirkungsgrösse ( $N$  = Nachfragegrösse, abhängige Variable) und der relativen Änderung einer vermuteten oder tatsächlichen verursachenden Grösse ( $U_v$  = unabhängige Variable) ist der mathematische Ansatz folgendermassen zu formulieren:

$$\varepsilon = \frac{\frac{N_1 - N_0}{N_0}}{\frac{U_{v1} - U_{v0}}{U_{v0}}} \quad [1]$$

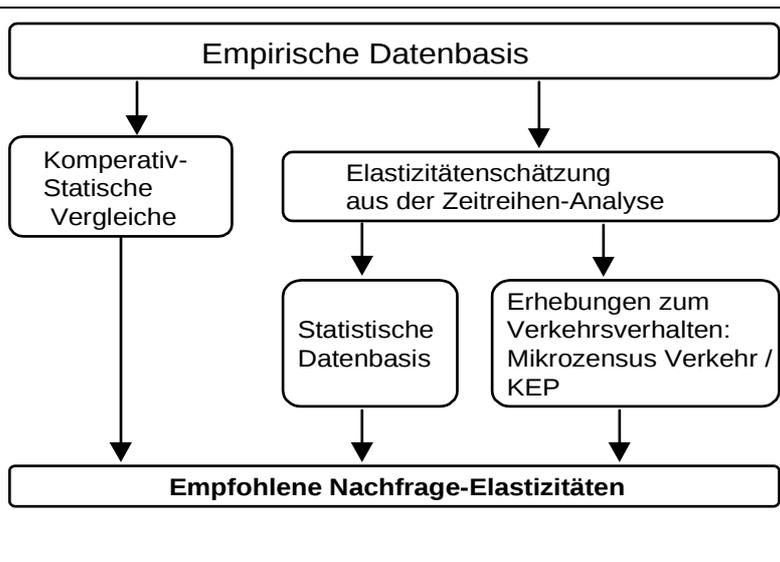
Unter Verwendung des Potenz-Ansatzes mit konstanten Elastizitäten und mit Berücksichtigung mehrerer Einflussgrössen lässt sich der Elastizitäten-Ansatz der Nachfragereaktion wie folgt formulieren:

$$N_1 = N_0 \cdot \left(\frac{E_1}{E_0}\right)^{\varepsilon_e} \cdot \left(\frac{K_1}{K_0}\right)^{\varepsilon_k} \cdot \dots \cdot \left(\frac{T_i}{T_0}\right)^{\varepsilon_i} \quad [2]$$

hier bedeuten:  $N_0$  und  $N_1$  abhängige Variablen (Nachfragemenge) im Ausgangs- und veränderten Zustand,  $E_1, E_0, K_1, K_0, T_1, T_0, \dots$  unabhängige Variablen (Einflussgrößen: Einkommen, Kosten, Zeiten...) im Ausgangs- und veränderten Zustand,  $\varepsilon$  - Elastizität.

Für die Berechnung von klassischen Elastizitäten werden zwei unterschiedliche Vorgehensweisen verwendet. Abbildung 1 gibt einen kurzen Überblick.

Abbildung 1: Vorgehensweise der Elastizitätenrechnung



In einem ersten Schritt werden durch Vorher-Nachher-Vergleiche (komperativ-statische Vergleiche) kurzfristige Nachfrageelastizitäten berechnet. Die vorhandene Datenbasis ermöglicht nur die Berechnung von Elastizitäten des öffentlichen Verkehrs. In einem zweiten Schritt werden die Elastizitäten anhand der empirischen Datengrundlage, welche den Zeitraum von 1984 bis 1997 abdeckt, mit Hilfe der Regressionsanalyse geschätzt. Im Hinblick auf das Untersuchungsziel und die Qualität der vorhandenen Datenbasis wird die Zeitreihenanalyse mit Hilfe der multiplen Regressionsanalyse als geeignete Methode angesehen.

Dafür finden drei unterschiedliche Datenquellen Anwendung:

- Statistische Datengrundlagen [Unter „Statistik“ werden alle veröffentlichten und Unternehmensstatistiken, vorhandene Untersuchungen sowie andere (abgesehen von Mikrozensus- und KEP-Erhebungen) verfügbare Statistiken verstanden; siehe auch weitere Literaturangabe in [9]]
- Daten des Mikrozensus Verkehr [4] 1984, 1989, 1994,
- Daten der kontinuierlichen Erhebungen des Personenverkehrs (KEP) [8] 1984, 1989, 1994.

Die aus verschiedenen Datenquellen ermittelten Elastizitäten wurden einander gegenübergestellt und analysiert. Durch einen Vergleich mit bisherigen Untersuchungen und eine Qualitätsanalyse der verwendeten Datenbasis wird die praktische Anwendbarkeit der hier berechneten Elastizitäten geprüft. Die statistische Auswertung wurde mit Methoden des SPSS-Programmes vorgenommen (Regressions- und Korrelationsanalyse). Hier wurden drei statistische Prüfmasse kontrolliert: Bestimmtheitsmass ( $r^2$ ), Durbin-Watson-Test und die Signifikanz der berechneten Koeffizienten.

Gerechnet werden im wesentlichen Elastizitäten des Verkehrsaufkommens im ÖV (Öffentlicher Verkehr) und im MIV (Motorisierter Individualverkehr). Verkehr innerhalb von Agglomerationen (Stadtverkehr) und zwischen Agglomerationen (Fernverkehr) wurde getrennt bearbeitet. Als Ergebnis werden Elastizitätswerte, z.T. Spannweiten mit unteren und oberen Werten empfohlen, die in der nachfolgenden Tabelle dokumentiert sind. Diese Elastizitäten

haben sich als relativ stabile und erklärbare Grössen erwiesen, was auch teilweise durch Elastizitätenrechnungen mit unterschiedlichen Datenquellen bestätigt wurde.

Tabelle 1: Empfohlene Verkehrsnachfrageelastizitäten (Anzahl Personenfahrten)

<i>Elastizitäten</i>	<i>ÖV- Stadtverkehr</i>	<i>ÖV- Fernverkehr</i>	<i>MIV-Stadt</i>	<i>MIV-Fern</i>	<i>PW-Bestand</i>
ÖV-Angebot*	0.25 / 0.35	0.30 / 0.45	-	-	
ÖV-Preis**	-0.20 / -0.30	-0.25 / -0.4	-	-	
Einkommen	0.30 / 0.60	0.35 / 0.7	0.34	0.60 / 0.70	0.28
PW-Bestand	-0.40 / -0.60	-	1.00	1.00	
Geschwindigkeit MIV	- 0.70 / -1.00	-	0.30 / 0.45	0.30 / 0.50	
PW-Kosten	-	-	-0.01	-0.03	-0.10
ÖV-Fahrzeit	-	-0.60 / -1.00	-	-	

(\*) Betriebsleistungen (Fahrzeugkilometer)

(\*\*) Tarifindices

### **Praktische Anwendbarkeit von klassischen Elastizitäten**

Im Vergleich mit der Basys/Brains-Studie von 1990 [3] sind die hier errechneten Elastizitäten in der Regel niedriger. Die Unterschiede sind nicht nur durch die unterschiedlichen Datengrundlagen und Erhebungszeiträume, sondern auch durch die jeweils verwendete Methodik zu erklären. Eine bedeutende Rolle spielen auch die Richtungen und die Grösse, in der sich die Variablen ändern (d.h. Preiserhöhung oder -senkung), was vor allem für die Preis- und Zeitelastizitäten eine Rolle spielt. Zu bemerken ist, dass in früheren Untersuchungen ermittelte Geschwindigkeitselastizitäten vor allem auf dem Geschwindigkeitswachstum basieren, was hier nicht mehr der Fall ist. Ähnlich ist es auch bei der Elastizität der Benzinpreise.

Für die praktische Anwendung von klassischen Elastizitäten sollten die Rahmenbedingungen und die Datengrundlage bei der Berechnung und Anwendung von Elastizitäten gegenüber gestellt und verglichen werden. Hier ist vor allem die Vergleichbarkeit der angebots- und nachfrageseitigen Charakteristika der Untersuchungsgebiete zu überprüfen. Weiter ist auch zu prüfen, ob sich die gewählten Fragestellungen mit der Anwendung von Elastizitäten richtig beantworten lassen und ob die verwendeten Variablengrössen und ihre Entwicklung vergleichbar sind.

Neben der nominalen Grösse der Elastizität sind auch andere Aspekte zu beachten, z.B. wie die Elastizitäten im Lauf der Zeit (kurzfristig/langfristig) variieren, inwiefern eine Abhängigkeit von der Massnahmengrösse besteht, wie bedeutend das Symmetrieproblem ist und welche Bedingungen für die räumliche Übertragbarkeit der Elastizitäten relevant sind.

Die Unsicherheiten und Einschränkungen bei der Anwendung von Elastizitäten ergeben sich vor allem durch die nicht für die Ermittlung von Elastizitäten (gezielt) erhobene Datenbasis, unterschiedliche Charakteristika der Untersuchungsgebiete und Auswahl und Merkmale der berücksichtigten Variable bei der Berechnung und Anwendung von Elastizitäten. Zusätzlich sind diese Unsicherheiten auch von der Massnahmenart und -grösse abhängig. Vor diesem Hintergrund sind die Elastizitäten vor allem für erste grobe Schätzungen von Nachfragereaktionen geeignet. Die Nachfrageauswirkungen bedeutender verkehrspolitischer und infrastruktureller Massnahmen können auf Basis von Elastizitäten nicht richtig quantifiziert werden.

### ***Elastizitäten aus Stated-Preference-Erhebungen***

Vor allem im Hinblick auf die letztgenannten Einschränkung und Unsicherheiten für die Berechnung von Elastizitäten aus der empirischen Datengrundlage werden in jüngerer Vergangenheit neuere Methoden der Elastizitätsberechnung aus sog. „Stated Preferences“ (SP)-Erhebungen verwendet. Die Methoden der *Stated Preferences* (Conjoint Analysis, Contingent Valuation, Direct Utility Assessment) ermitteln mögliche Verhaltensreaktionen der Befragten durch die Vorgabe einer Reihe von Entscheidungssituationen, die verschiedene Alternative enthalten. Wesentlich ist dabei, dass die Situationen so gewählt werden, dass die relevanten Ausschnitte des Entscheidungsraumes systematisch ausgelotet werden [6]. Die Bestimmung von Nachfrageelastizitäten ist ein klassisches Anwendungsgebiet der Stated Preferences-Forschung. Der Schwerpunkt dieser Methoden liegt in der Quantifizierung von Wirkungszusammenhängen, die ausserhalb der Reichweite bisheriger qualitativer und quantitativer Methoden liegen [6]. Im Rahmen dieser Untersuchung [9] wurde eine europaweite Quellenrecherche zur Methode der Stated Preference durchgeführt. Aus dem verfügbaren Quellenmaterial wurden fünf ausgewählte Untersuchungen ausgewertet (siehe weitere Literaturangabe in [9]). Die Anwendung der SP-Methode für konkrete Untersuchungsfälle war nicht Gegenstand des Forschungsvorhabens. Vielmehr sollten die SP-Methodik, ihre Möglichkeiten und Grenzen sowie Vor- und Nachteile der verschiedenen Methoden dargestellt werden. Gerade Anforderungen wie spezifische Charakteristika des Untersuchungsgebiets, neuartige Fragestellungen, gleichzeitige Veränderung von mehreren Einflussgrössen, Messung des Einflusses schwächerer Variablen, nicht vorhandene empirische Datengrundlage usw. sind entscheidende Nachteile bei der Anwendung klassischer Elastizitäten, die sich mit Hilfe der SP-Methode teilweise überwinden lassen.

Da die Ergebnisse der SP-Untersuchungen i.d.R. auf einer kleineren Datenbasis aufbauen, spielt die Qualität bzw. Repräsentativität der Stichprobe eine sehr wichtige Rolle. Diese Repräsentativität bezieht sich vor allem auf die Berücksichtigung aller für das Untersuchungsziel relevanten Parameter (vor allem auf die Auswahl der Befragten). Aus diesem Grund ist es wichtig, dass eine vollständige SP-Methodik durchgeführt wird. Besonders wichtig ist dabei die Definition des Untersuchungsgegenstandes, der Zielgruppe und der Rahmenbedingungen. Aus SP-Befragungen ermittelte Ergebnisse haben im konkreten Einzelfall deutliche Vorteile, da sie aus der Datengrundlage des betrachteten Untersuchungsgebiets gerechnet werden. Dadurch werden alle spezifischen Charakteristika dieses Gebiets bei der Ermittlung der Ergebnisse berücksichtigt, was einen bedeutenden Vorteil gegenüber klassischen und aus empirischen Datengrundlagen ermittelten Elastizitäten darstellt.

### ***Methodenvergleich***

Zusammenfassend lassen sich folgende Vorteile der SP-Methoden nennen [6]:

- spezifische Charakteristika des Untersuchungsgebiets und spezifische Fragestellungen können berücksichtigt werden;
- der relevante Teil des Entscheidungsraums der Befragten wird systematisch untersucht;
- Massnahmen werden in die Untersuchung einbezogen, die sich vom Spektrum der bisherigen Gegebenheiten deutlich unterscheiden;
- schwache und qualitative Einflussgrößen können quantifiziert werden;
- Wirkungen der einbezogenen Einflussgrößen sind unabhängig voneinander messbar;
- Kombination der SP-Daten und Verfahren mit anderen Befragungen bzw. anderen Ansätzen sind möglich;
- kleinerer Stichprobenumfang mit genügender statistischer Zuverlässigkeit der Ergebnisse.

In neueren Untersuchungen wurde festgestellt, dass das Argument geringerer Kosten für die SP-Methoden nicht immer gültig sind, d.h., dass für eine verlässlichere Qualität der Ergebnisse (genügende angebots- und nachfrageseitige Repräsentativität) bei dieser Methode auch höhere Kosten veranschlagt werden müssen.

Die wesentlichen Nachteile der SP-Methoden sind:

- die Validität der Aussagen bei Antworten zu hypothetischen Situationen ist auch mit dieser Methode nicht definitiv zu beurteilen;
- der Entwurf des Versuchsplans und die Gestaltung der Befragung erfordern einschlägige methodische Erfahrungen.

Klassische Elastizitäten haben folgende Stärken, die allerdings nur unter der Voraussetzung der plausiblen Datengrundlage zum Tragen kommen:

- sie beziehen sich auf Gesamtnachfrageeffekte (höhere Aggregation);
- sie beziehen sich auf tatsächliches (beobachtetes) Verhalten;
- sie sind einfach in der Anwendbarkeit und können oft ex post ohne Zusatzerhebungen aus bestehenden Statistiken ermittelt werden.

Bei einigen Elastizitäten können wir eine, wenn auch beschränkte, „Allgemeingültigkeit“ annehmen. Bei der Gegenüberstellung der hier bearbeiteten Methoden der klassischen Elastizitäten und der SP-basierten Elastizitäten ist folgendes festzustellen:

- beide Methoden haben spezifische Vor- und Nachteile,
- beide haben gemeinsame Schwächen, vor allem was ihre Anwendbarkeit für langfristige Prognosen betrifft,
- die zwei Verfahren können sich sinnvoll ergänzen,
- beide haben spezifische Einsatzfelder,

Statistische Probleme bei der Auswertung der Daten und relativ eingeschränkte Übertragbarkeit gelten sowohl für SP-Methoden als auch für klassische Elastizitäten (RP-Methode). Gleichzeitig ist eine ex-post Überprüfung und eine klare Definition der Einsatzgrenzen und Übertragbarkeit für die beide Methoden zu empfehlen.

In neueren Untersuchungen werden die SP-Befragungen immer mehr mit Daten der Revealed Preferences (RP) verknüpft. Dadurch werden vorhandene Nachteile von SP- und RP-Methoden minimiert und ihre Vorteile am besten ausgenutzt.

## **Fazit**

Es wird empfohlen, die Elastizitäten vor allem für erste und grobe Schätzungen von Nachfragereaktionen auf „bekannte“ Massnahmen zu verwenden. Die Nachfrageauswirkungen bedeutender verkehrspolitischer und infrastruktureller Massnahmen können auf Basis von Elastizitäten vor allem wegen der spezifischen Charakteristika des Untersuchungsgebiets und spezifischer Fragestellungen nicht richtig quantifiziert werden. Gleichzeitig ist zu empfehlen, dass bei Aufgaben, bei denen die Anwendung von Elastizitäten als plausibel erscheint, die Qualität der Datengrundlage für die Ermittlung dieser Elastizitäten eine höhere Bedeutung haben soll. In Abhängigkeit von der Qualität der empirischen Datengrundlage variiert auch die Verlässlichkeit der klassischen Elastizitäten. Es ist festzustellen, dass eine verlässliche Ermittlung von Elastizitäten ohne Durchführung und Vorbereitung dafür geeigneter Datenerhebungen über einen längeren Zeitraum (Panellerhebungen) nicht möglich ist. Zusätzlich ist zu beachten, dass die so ermittelten Ergebnisse – wie auch die mit den SP-Methoden ermittelten Ergebnisse – in erster Linie für das betrachtete Untersuchungsgebiet gültig sind.

Um spezifische Charakteristika des Untersuchungsgebiets sowie die Nachfragereaktionen auf spezifische (neue) Fragestellungen zu bestimmen, *erscheint die Methode der Stated Preference aus grundsätzlichen Erwägungen besser geeignet*. Zusätzlich bietet diese Methode Möglichkeiten, Wirkungen einbezogener Einflussgrössen unabhängig voneinander zu messen, sowie die Bedeutung von schwächeren Variablen zu quantifizieren. Gerade Anforderungen wie spezifische Charakteristika des Untersuchungsgebiets, neuartige Fragestellungen, gleichzeitige Veränderung von mehreren Einflussgrössen, Messung des Einflusses schwächerer Variablen, nicht vorhandene empirische Datengrundlage usw. sind entscheidende Nachteile bei der Anwendung klassischer Elastizitäten, die sich mit Hilfe der SP-Methode teilweise überwinden lassen. Die vorher genannten Nachteile der SP-Methode lassen sich teilweise durch eine verknüpfte Analyse der beobachteten Situationen reduzieren.

Bei der Anwendung von Elastizitäten (sowohl aus RP als auch aus SP Untersuchungen) für die Verkehrsprognose sollte berücksichtigt werden, ob und wie stark sich die Rahmenbedingungen, die für Ermittlung von Elastizitäten wichtig sind, ändern werden. Zusätzlich ist zu betonen, dass für die plausible Ermittlung der Nachfrageauswirkungen von bestimmten Massnahmen neben den „richtig“ ermittelten Gesetzmässigkeiten der Verkehrsnachfrage (Elastizitäten) ein weiterer wichtiger Faktor das Quantifizieren des *vorhandenen Verkehrspotentials* ist. Für die Bestimmung der Nachfrageauswirkungen sind diese zwei Parameter gleichbedeutend. Um alle spezifischen (angebots- und nachfrageseitigen) Charakteristika eines Untersuchungsgebiets zu berücksichtigen, wird empfohlen, die mit der SP-Methode ermittelten Gesetzmässigkeiten weiter in einem *netzbezogenen Verkehrsmodell* zu implementieren und zu verwenden. Durch die richtige Abbildung des Verkehrsangebotes und der Verkehrsnachfrage (Quell-/Ziel-Matrizen) im Verkehrsmodell ist es möglich, das Verkehrspotential sowie die Nachfrageauswirkungen einer Massnahme genauer bzw. realitätsnäher abzubilden. Zusätzlich bieten diese Modelle auch die Möglichkeit, die Auswirkungen von einer oder mehreren Einflussgrössen gleichzeitig zu analysieren (Zeit, Preis, Frequenz..), was mit der Anwendung klassischer Elastizitäten sehr schwer realisierbar ist.

Obwohl die internationale Erfahrung mit SP-Erhebungen mittlerweile sehr breit gefächert ist, fehlt bislang eine veröffentlichte ex-post-Kontrolle zur Validierung der SP-basierten Prognosen. Erst eine systematische Kontrolle wird es erlauben, ein endgültiges Urteil über die Eignung dieser neuen Methodik für die Verkehrsplanung zu fällen. Deshalb wird empfohlen, bei einigen wichtigen öffentlichen Verkehrsinfrastrukturinvestitionen sowohl im Strassensektor als auch bei der Bahn im Rahmen von Pilotprojekten eine Begleitforschung zu etablieren, die es erlaubt, die Qualität der Ergebnisse von SP-Erhebungen zu überprüfen und zu validieren.

## Literatur

- [1] Abay&Meier (1990) Analyse der Nachfrage im öffentlichen Personenverkehr, Bericht an das Bundesamt für Verkehr und den Dienst für Gesamtverkehrsfragen, Zürich
- [2] Axhausen, K.W. und H.Köll (1999) Travel Demand Management, Evaluation with Stated-Preference-Methods, Innsbruck, Ampass
- [3] BASYS / BRAINS (1990) Elastizitäten des Personenverkehrs der Schweiz 1975 - 1984, GVF-Auftrag Nr. 4/A110 und Nr. 4/A149, Bern.
- [4] Bundesamt für Statistik / Dienst für Gesamtverkehrsfragen (1985,1990,1995) Mikrozensus Verkehrsverhalten 1984, 1989,1994, Bern.
- [5] Cerwena P. und G.Hauger (1996) Neuverkehr – Realität oder Phantom? *Zeitschrift für Verkehrswissenschaft*, (4) 286-326.
- [6] FGSV (1996) *Hinweise zur Messung von Präferenzstrukturen mit Methoden der Stated Preferences*, Forschungsgesellschaft für Strassen und Verkehrswesen, Köln.
- [7] Neusser, K. (1998) Nachfrageelastizitäten des Personenverkehr der Bahnen. Ein ökonomisches Prognosemodell, Bericht an die SBB, Volkswirtschaftliches Institut, Universität Bern, Bern
- [8] Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) (1985,1990,1995) Kontinuierliche Erhebung Personenverkehr 1984, 1989, 1994, SBB, Bern  
Alle weitere Literaturangabe in
- [9] Vrtic, M., O. Meyer-Rühle, S. Rommerskirchen, P. Cervenka und W. Stobbe (2000), Sensitivitäten von Angebots- und Preisänderungen im Personenverkehr, Bericht an die Vereinigung der Schweizerische Verkehrsingenieure (SVI) und Bundesamt für Strassenbau (ASTRA), Prognos AG, Basel.