

Leitfaden 2012/02

Aktivitätenorientierte Analyse des Neu- verkehrs

SVI



Impressum

Datum

27.12.2012

Version

1.1

Grundlagen

SVI 2004/012

Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs

IVT, ETH Zürich, Zürich

Claude Weis, Kay W. Axhausen

Bezug des Berichts: www.mobilityplatform.ch/

Herausgeber

SVI Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure und

Verkehrsexperten

www.svi.ch

Verfassende des Leitfadens

IVT, ETH Zürich, Zürich

Claude Weis, Kay W. Axhausen

Dieser Leitfaden wurde am 15. Februar 2013 durch den Vorstand der Schweizerischen Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten SVI genehmigt und zur Veröffentlichung frei gegeben.

Der Leitfaden darf unter Angabe der Quelle vollständig oder auszugsweise kopiert und in Unterlagen sowie Berichte eingefügt werden.

Inhaltsverzeichnis

1.	Zweck und Stellenwert des Leitfadens	1
2.	Definitionen und Erklärung der zentralen Begriffe	2
2.1	Erreichbarkeit	2
2.2	Preisindex	2
2.3	Elastizität	2
3.	Verwendete Methodik	3
4.	Anwendung der Forschungsergebnisse	5
5.	Bei der Anwendung zu verwendende Werte	7
6.	Anwendungsbeispiel	8
7.	Literatur	10

1. Zweck und Stellenwert des Leitfadens

Im Rahmen des SVI-Projekts „Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs“ (SVI 2004/012; siehe Weis und Axhausen, 2011) wurden verschiedene Ansätze zur Ermittlung der aus Veränderungen des Verkehrssystems resultierenden (neu erzeugten) Nachfrage nach Verkehrsleistungen verfolgt. Im Mittelpunkt stand hierbei die Verkehrserzeugung, also die Frage, wie stark die Verkehrsteilnehmenden mit zusätzlichen Aktivitäten und Wegen auf veränderte Reisezeiten reagieren.

Aufgabenstellung

Das genannte Projekt, und damit auch die hier gezeigten Anwendungen, konzentriert sich ausdrücklich auf aggregierte Veränderungen in der Verkehrserzeugung – Verkehrsmittel- und Routenwahleffekte wurden nur am Rande, bzw. nicht, berücksichtigt. Auch die veränderte Zielwahl kann nicht explizit, sondern nur über die Abschätzung der Veränderungen der zurückgelegten Distanzen, modelliert werden. Die hier berücksichtigten Dimensionen sind in Tabelle 1 grau hinterlegt.

Abgrenzung

Die im Forschungsprojekt erzielten Ergebnisse werden im vorliegenden Leitfaden zusammenfassend aufgezeigt, gemeinsam mit Hinweisen, wie diese in der Praxis zur Abschätzung der untersuchten Effekte anzuwenden sind. Die Anwendung betrifft Projekte, welche Reisezeitveränderungen im motorisierten Individualverkehr (MIV) oder im öffentlichen Verkehr (ÖV) erzeugen.

Einordnung

Tabelle 1: Abgrenzungen des Begriffs „Neuverkehr“

Ausgangs- orte	Veränderung					
	keine	Häufigkeit	Zielort	Abfahrtszeit	Verkehrsmittel	Route
gegeben	keine neuen Wege	neu erzeugte Wege	keine neuen Wege	keine neuen Wege	keine neuen Wege	keine neuen Wege
	keine Veränderung der Distanzen	evt. Veränderung der Distanzen	evt. Veränderung der Distanzen	keine Veränderung der Distanzen	evt. Veränderung der Distanzen	erzeugte Veränderung der Distanzen
neu	keine neuen Wege	neu erzeugte Wege	neu erzeugte Wege	keine neuen Wege	keine neuen Wege	keine neuen Wege
	Veränderung der Distanzen	Veränderung der Distanzen	Veränderung der Distanzen	Veränderung der Distanzen	Veränderung der Distanzen	Veränderung der Distanzen

Quelle: basierend auf einer Darstellung in Hills (1996)

2. Definitionen und Erklärung der zentralen Begriffe

2.1 Erreichbarkeit

Definition „Erreichbarkeit“

Als zentrale Eingangsgrösse für die hier gezeigten Berechnungen wird die **Erreichbarkeit** einer Zone (in diesem Fall einer Gemeinde der Schweiz) verwendet. Diese versteht sich als die reisezeitgewichtete Anzahl an Gelegenheiten (im vorliegenden Fall über die Einwohner abgebildet), welche von einem Ort aus erreichbar sind. Die Erreichbarkeit einer Zone wird mit folgender Formel berechnet:

$$A_i = \ln \left[\sum_{j=1}^n X_j \cdot f(c_{ij}) \right]$$

Erklärung der Formel

Hierbei stellt A_i die Erreichbarkeit für Gemeinde i dar. X_j ist die Anzahl Einwohner von Gemeinde j . c_{ij} sind die Reisezeiten zwischen i und j . n ist die Gesamtanzahl Gemeinden. f ist eine negativ exponentielle Gewichtungsfunktion für die Wirkung der Zunahme der Entfernung zwischen zwei Gemeinden auf die Abnahme deren gegenseitiger Beeinflussung:

$$f(c_{ij}) = e^{-\beta \cdot c_{ij}}$$

Gewichtung

Hier wird für β ein Wert von 0.2 für die Gewichtung der Reisezeit in Minuten eingesetzt, welcher sich in früheren Schweizer Studien (siehe Fröhlich *et al.*, 2006) bewährt hat.

2.2 Preisindex

Definition „Preisindex“

Der Preisindex für den Personenverkehr (Abay, 1995, 2000) spielt bei der hier beschriebenen Modellierung des Verkehrsverhaltens ebenfalls eine zentrale Rolle. Der Index stellt die Kosten der Verkehrsteilnahme dem jeweiligen Landesindex der Konsumentenpreise gegenüber und ist somit ein Instrument zur Bewertung der relativen Kosten der Mobilität.

2.3 Elastizität

Definition „Elastizität“

Ein weiterer zentraler Begriff ist jener der **Elastizität**. Diese beschreibt definitionsgemäss die *relative* (in Prozent) Veränderung einer abhängigen Grösse (hier der Nachfrage nach Verkehrsleistungen), welche sich aus einer ebenfalls *relativen* (prozentualen) Veränderung einer Einflussgrösse (hier der Erreichbarkeit) ergibt (siehe z.B. Greene, 1997).

Anwendungsbereich

Wie bei allen Anwendungen von Elastizitäten ist auch hier zu bedenken, dass diese eine lineare Extrapolation darstellen, die bei grossen Veränderungen zu unrealistischen Werten führt. Die Elastizitäten sollten also nur für Steigerungen der Einflussgrössen von bis zu ca. 10 Prozent verwendet werden. Da aufgrund realisierbarer Infrastrukturprojekte aber kaum je mit einem höheren Anstieg der Erreichbarkeiten gerechnet werden kann, sind die Elastizitäten für die Verwendung in realistischen Szenarien sehr gut geeignet.

3. Verwendete Methodik

Im Projekt wurden lang- und kurzfristige Elastizitäten mit zwei getrennten Ansätzen ermittelt.

Die **langfristigen Nachfrageelastizitäten** (Zeithorizont: Jahre) wurden mit einem sogenannten *Structural Equations* Modell (SEM) errechnet, einem Ansatz ähnlich einer linearen Regression, welcher jedoch die simultane Schätzung von Modellen für mehrere abhängige Variablen, und auch deren gegenseitiger Beeinflussung, zulässt.

Berechnung der langfristigen Nachfrageelastizitäten

Es konnte unter Berücksichtigung aller anderen relevanten Variablen aufgezeigt werden, welchen Einfluss Steigerungen der Erreichbarkeit auf die im Projekt interessierenden Dimensionen der Verkehrsnachfrage haben:

Berücksichtigte Nachfragedimensionen

- die Wahrscheinlichkeit, ausser Haus zu gehen;
- die Anzahl zurückgelegter Wege;
- die Anzahl Wege pro Reise (Abfolge von Wegen mit Start und Ziel am Wohnort) als Indikator der Verkettung von Wegen;
- die Gesamtdauer der ausser Haus durchgeführten Aktivitäten;
- und die insgesamt an einem Tag zurückgelegte Distanz.

Als Grundlage für die Schätzung der Modelle wurden verschiedene Datenquellen verwendet:

Datenquellen

- die Mikrozensus Verkehr von 1974 bis 2005, aus welchen die Mobilitätsvariablen sowie die soziodemographischen Eigenschaften der Verkehrsteilnehmenden abgeleitet wurden;
- Zeitreihen über Preisindizes im Personenverkehr seit 1970, als monetäre Einflussgrösse (Abay, 1995, 2000);
- und Daten über die Entwicklung der Erreichbarkeiten der Schweizer Gemeinden seit 1970.

Die Daten der verschiedenen Mikrozensus-Datensätze wurden zu sogenannten *Pseudopaneln* zusammengefasst, in welchen die Befragten jeweils nach Geburtsjahr, Geschlecht und Sprachregion einer Kohorte zugeordnet wurden und diese Kohorten dann im Modell als Individuen angesehen wurden.

Berechnung der kurzfristigen Nachfrageelastizitäten

Für die Ermittlung der **kurzfristigen Nachfrageelastizitäten** wurde ein komplexer Befragungsansatz gewählt, welcher Anpassungen der Tagespläne von Personen als Reaktion auf veränderte Reisezeiten abzubilden vermag. Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu den langfristigen Elastizitäten zu gewährleisten, wurden die sich aus diesen Reisezeitveränderungen ergebenden Erreichbarkeitsveränderungen berechnet und wiederum den Verhaltensänderungen gegenübergestellt.

Die Ergebnisse aus beiden Teilstudien sind sich insgesamt sehr ähnlich und zueinander konsistent. Da es sich bei der Befragung um eine innovative und noch experimentelle Methode handelt, und im jetzigen Stand der Praxis die entsprechende Datengrundlage für die Anwendung der resultierenden Modelle nur selten vorliegen dürfte, werden im Folgenden nur die Ergebnisse aus der Langfriststudie der historischen Daten verwendet, und zur Verwendung in der Bewertung von Einzelprojekten empfohlen.

4. Anwendung der Forschungsergebnisse

Es konnte anhand verschiedener Beispiele im Projekt gezeigt werden, dass die zu erwartenden Nachfragereaktionen bei starken Anstiegen der Erreichbarkeiten zwar substantiell sind, diese Erreichbarkeitssteigerungen bei realistischen Massnahmen jedoch im gesamtschweizerischen Mittel nur sehr gering ausfallen dürften.

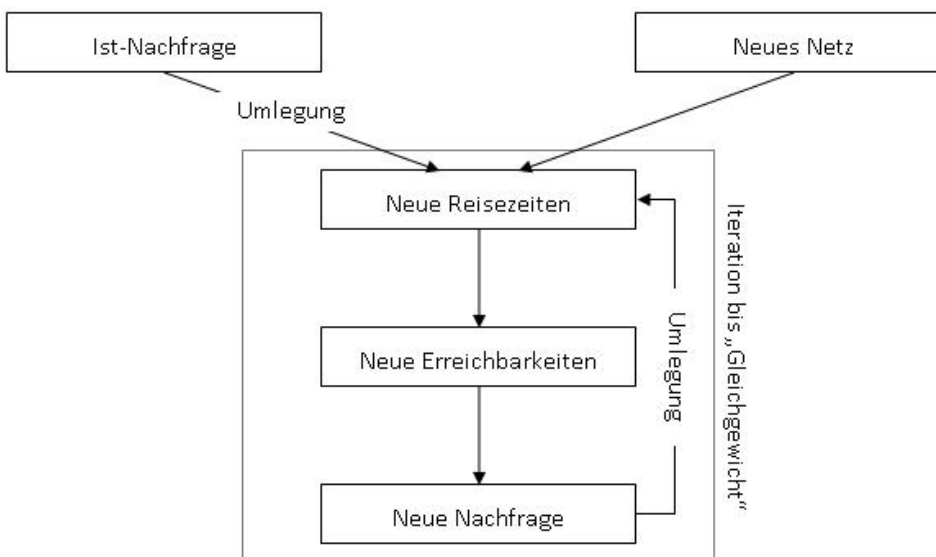
Grössenordnung der Effekte

Nichtsdestotrotz können die Effekte lokal sehr gross sein, und es ist im Einzelfall zu prüfen, wie sich die Veränderungen des Angebots auf die Erreichbarkeiten und die damit einhergehenden Nachfragereaktionen auswirken. Dazu wird das hier beschriebene Vorgehen empfohlen.

Es wird davon ausgegangen, dass für den bestehenden Netzzustand die Reisezeitmatrix vorliegt. Zur Prognose der Nachfragereaktionen werden die in Abbildung 1 schematisch dargestellten und anschliessend im Detail beschriebenen Schritte ausgeführt.

Ausgangslage für die Anwendung

Abbildung 1: Ablaufschema der Anwendung



- (1) Aufgrund der Reisezeiten im bestehenden Netz werden die Erreichbarkeiten A_{alt} aller relevanten Zonen (Gemeinden) im Referenzzustand mittels der oben beschriebenen Formel berechnet.
- (2) Bei bestehender Nachfrage und mit einem aufgrund einer Massnahme veränderten Netzzustand wird die neue Reisezeitmatrix (mittels Umlegung der Nachfrage auf das entsprechende Netzmodell) ermittelt.
- (3) Aus den neuen Reisezeiten werden mittels obiger Formel die neuen Erreichbarkeiten A_{neu} ermittelt.
- (4) Für jede Gemeinde wird die relative Erreichbarkeitsveränderung $\delta_{Erreichbarkeit,rel}$ berechnet:

Ablauf der Anwendung

$$\partial_{Erreichbarkeit,rel} = \frac{A_{neu}}{A_{alt}} - 1$$

- (5) Die Multiplikation dieser Veränderung mit der entsprechenden Elastizität ε aus obenstehender Tabelle ergibt die relative Veränderung $\delta_{Nachfrage,rel}$ der betrachteten Nachfragegrösse:

$$\partial_{Nachfrage,rel} = \varepsilon \cdot \partial_{Erreichbarkeit,rel}$$

- (6) Die so errechneten prozentual neu entstehenden Wege für jede Gemeinde werden zu den Zeilen der bestehenden Nachfragematrix addiert, womit die neue Nachfragematrix vorliegt:

$$n_{Wege,i,j,neu} = n_{Wege,i,j,alt} \cdot (1 + \partial_{Nachfrage,rel,i}) \quad \forall i, j$$

- (7) Die so ermittelte Matrix sollte dann wiederum zwecks erneuter Berechnung der Reisezeiten und Erreichbarkeiten auf das Netz umgelegt werden. Gegebenenfalls müssen diese Arbeitsschritte mehrmals iterativ wiederholt werden, um letztendlich die Konsistenz zwischen erzeugten Verkehrsmengen und Erreichbarkeiten herzustellen, bis ein Gleichgewichtszustand entsteht.

5. Bei der Anwendung zu verwendende Werte

Aus der Langfristanalyse ergeben sich die in Tabelle 2 gezeigten Elastizitäten für die einzelnen Nachfragekomponenten.

Elastizitäten

Die Tabelle liest sich gemäss der obenstehenden Definition der Elastizitäten wie folgt:

Ergibt sich aus der Realisierung einer Massnahme, beispielsweise eines Ausbaus der Infrastruktur, für eine bestimmte Gemeinde eine Erreichbarkeitssteigerung von 10 Prozent, so ist für diese Gemeinde mit einem Anstieg des Anteils mobiler Personen pro Tag um 6.1 Prozent ($= 0.61 * 10 \%$) zu rechnen. Die Anzahl durchgeführter Wege würde dadurch um 4.4 Prozent ($= 0.44 * 10 \%$) steigen.

Lesebeispiel

Tabelle 2: Nachfrageelastizitäten bezüglich Erreichbarkeit und Preisindex

Nachfragedimension	Elastizität bezüglich Erreichbarkeit	Elastizität bezüglich Preisindex
Ausser-Haus-Anteil	0.61	-0.06
Anzahl Wege	0.44	-0.19
Anzahl Wege pro Reise	0.24	-1.66
Ausser-Haus-Dauer	0.10	-0.84
Zurückgelegte Distanz	1.14	-1.95

6. Anwendungsbeispiel

Zur weiteren Veranschaulichung der Anwendung der Forschungsergebnisse folgt ein einfaches Beispiel zum oben beschriebenen Verfahren:

Beispielgebiet

Gegeben sei ein Gebiet mit 4 Gemeinden in einem Netz, die Reisezeiten zwischen diesen Gemeinden, und die gemäss obiger Formel daraus resultierenden Erreichbarkeiten (Tabelle 3).

Tabelle 3: Reisezeiten und Erreichbarkeiten im Beispielgebiet (Ist-Zustand)

Gemeinde	Einwohner	Reisezeit nach				Erreichbarkeit
		A	B	C	D	
A	500	2	10	15	20	6.50
B	2'000	10	10	5	10	6.65
C	1'000	15	5	5	5	7.18
D	500	20	10	5	2	6.89

Wirkungen einer Massnahme im Beispielgebiet

Durch eine Massnahme reduziere sich die Reisezeit zwischen A und B (und damit auch von B nach A) von 10 auf 5 Minuten, womit die neue Reisezeitmatrix wie folgt aussähe und die entsprechenden neuen Werte für die Erreichbarkeiten resultieren würden (Tabelle 4).

Tabelle 4: Reisezeiten und Erreichbarkeiten im Beispielgebiet (Plan-Zustand)

Gemeinde	Einwohner	Reisezeit nach				Erreichbarkeit
		A	B	C	D	
A	500	2	5	15	20	7.03
B	2'000	5	10	5	10	6.79
C	1'000	15	5	5	5	7.18
D	500	20	10	5	2	6.89

Zur Erinnerung: die Nachfrageelastizität für die Anzahl Wege bezogen auf Erreichbarkeitsveränderungen beträgt 0.44.

Berechnung der Nachfrageveränderungen

Die Erreichbarkeit der Gemeinde A würde sich um 8 Prozent (von 6.50 auf 7.03) erhöhen, womit die Anzahl Wege zwischen A und allen anderen Gemeinden um $8 * 0.44 = 3.52$ Prozent steigen würde. Für Gemeinde B ergäbe sich eine Erreichbarkeitssteigerung von immerhin 2 Prozent, welche hier entsprechend zu 0.88 Prozent (= $2 * 0.44$) mehr Wegen führen würde.

Um das Beispiel zu Ende zu führen, sei im Ausgangszustand ein Durchschnitt von 3.8 Wegen pro Person angenommen, was dem Gesamtschweizer Durchschnitt im Jahr 2005 entspricht. Für das Beispielgebiet ergäben sich also die in Tabelle 5 gezeigten Gesamtveränderungen.

Tabelle 5: Durch die Massnahme erzeugte Nachfrageveränderungen im Beispielgebiet

Gemeinde	Einwohner	Wege alt	Steigerung [%]	Wege neu
A	500	1'900	3.52	1'967
B	2'000	7'600	0.88	7'667
C	1'000	3'800	-	3'800
D	500	1'900	-	1'900
Alle	4'000	15'200	0.86	15'334

Die zusätzliche Nachfrage von 134 Wegen pro Tag, was einer Steigerung der Nachfrage im gesamten Gebiet um ca. 0.9 Prozent entspricht, müsste also als Folge der Massnahme vom Verkehrsnetz aufgenommen werden.

Ergebnisse

Die Anwendung des hier diskutierten Modells bezieht sich alleine auf die Gesamtmenge an erzeugten Wegen; die übrigen Modellschritte bleiben die Aufgabe des Nachfragemodells. Die Aufteilung der in obiger Tabelle angegebenen Quellströme auf die verschiedenen Ziele bleibt also hier dieselbe wie im Ausgangszustand.

Anwendungsbereich

7. Literatur

Abay, G. (1995) Die Preisentwicklung im Personenverkehr 1987-1994, *GVF-Auftrag Nr. 258*, Dienst für Gesamtverkehrsfragen, Bern.

Abay, G. (2000) Die Preisentwicklung im Personenverkehr 1994-1999, *GVF-Auftrag Nr. 376*, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern.

Fröhlich, P., M. Tschopp und K.W. Axhausen (2006) Entwicklung der Erreichbarkeit der Schweizer Gemeinden: 1950-2000, *Raumforschung und Raumordnung*, **63** (6) 385-399.

Greene, W.H. (1997) *Econometric Analysis*, Prentice Hall, Upper Saddle River.

Hills, P.J. (1996) What is induced traffic?, *Transportation*, **23** (1) 5-16.

Weis, C. und K.W. Axhausen (2011) Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs, Schlussbericht SVI 2004/012, *Schriftenreihe des UVEK*, **1362**, UVEK, Bern.

