

Das Transport Policy Model

Fallstudie Region Zürich

Working Paper

Author(s):

Heimgartner, Christian

Publication date:

2002-05

Permanent link:

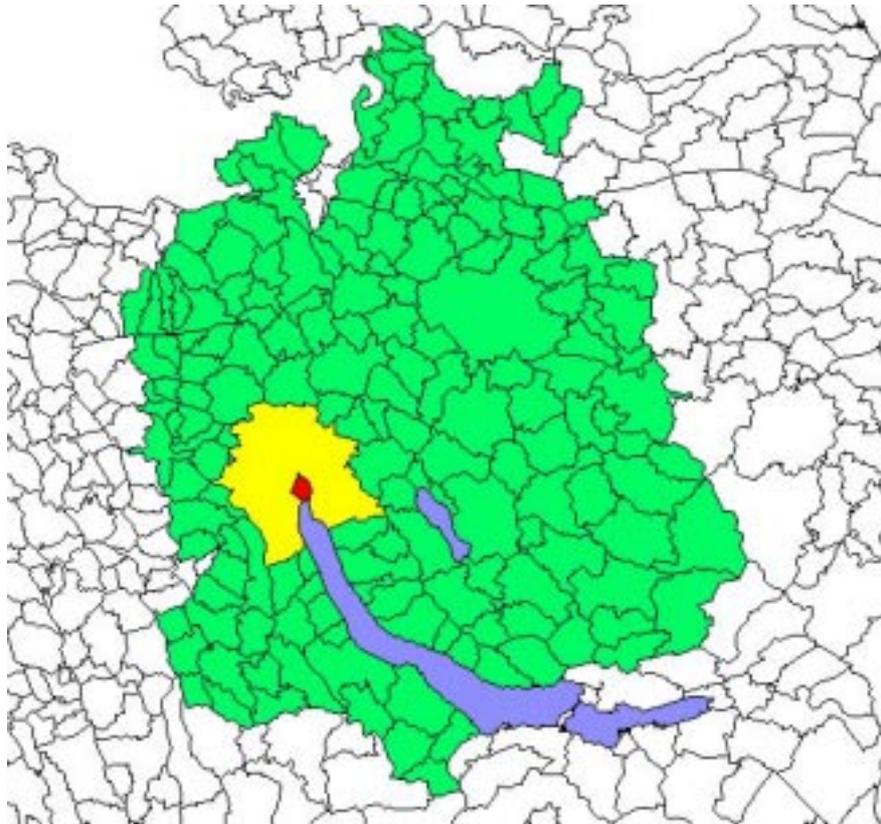
<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004340033>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Originally published in:

Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung 120



Das Transport Policy Model - Fallstudie Region Zürich

Christian Heimgartner

Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung 120

Mai 2002

Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau (IVT)

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	II
Abbildungsverzeichnis	III
Kurzfassung.....	1
Abstract	2
1. Nachhaltige Entwicklung und hochaggregierte Verkehrsmodelle	3
2. Anlass und Ziel dieser Fallstudie	5
3. Das Transport Policy Model TPM	6
3.1 Modellhintergrund und -geschichte.....	6
3.2 Modellstruktur.....	6
4. Fallbeispiel Zürich	19
4.1 Daten und deren Quellen	19
4.2 Sensitivitätstest	28
4.3 Elastizitätentest	32
4.4 Test des Einflusses der Szenarioparameter.....	33
4.5 Prognosebeispiele	38
5. Fazit und Ausblick.....	53
6. Literatur	56

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Zonen- und zeitabschnittsunabhängigen Daten	8
Tabelle 2	Zonen- und zeitabschnittsunabhängigen Daten (Fortsetzung).....	9
Tabelle 3	Daten je Zone	9
Tabelle 4	Parkplatz-Daten innere Zone.....	10
Tabelle 5	Zonen- und zeitabschnittsunabhängigen Daten	21
Tabelle 6	Zonen- und zeitabschnittsunabhängigen Daten (Fortsetzung).....	22
Tabelle 7	Daten je Zone	22
Tabelle 8	Daten je Zone (Fortsetzung).....	23
Tabelle 9	Parkplatz-Daten innere Zone.....	24
Tabelle 10	Resultate Sensitivitätstest	31
Tabelle 11	Empfohlene Elastizitäten	32
Tabelle 12	Vergleich der Elastizitäten	33
Tabelle 13	Testwerte Szenarioparameter	34
Tabelle 14	Einfluss der veränderten Szenarioparameter auf die Morgenspitze	35
Tabelle 15	Einfluss der veränderten Szenarioparameter tagsüber.....	36
Tabelle 16	Werte Szenarioparameter Szenario Sub- und Desurbanisierung.....	39
Tabelle 17	Werte Szenarioparameter Szenario Reurbanisierung	40
Tabelle 18	Szenario Sub- und Desurbanisierung, Benzinpreisfaktor 1.1, Morgenspitze	41
Tabelle 19	Szenario Sub- und Desurbanisierung, Benzinpreisfaktor 1.1, tagsüber	42
Tabelle 20	Szenario Sub- und Desurbanisierung, Benzinpreisfaktor 1.5, Morgenspitze	43
Tabelle 21	Szenario Sub- und Desurbanisierung, Benzinpreisfaktor 1.5, tagsüber	44
Tabelle 22	Szenario Reurbanisierung, Benzinpreisfaktor 1.1, Morgenspitze	45

Tabelle 23	Szenario Reurbanisierung, Benzinpreisfaktor 1.1, tagsüber	46
Tabelle 24	Szenario Reurbanisierung, Benzinpreisfaktor 1.5, Morgenspitze	47
Tabelle 25	Szenario Reurbanisierung, Benzinpreisfaktor 1.5, tagsüber	48

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Wirkungsgraph des Transport Policy Model	13
Abbildung 2	Ausgabefenster in TPM	17
Abbildung 3	Zonenzuteilung Region Zürich	20
Abbildung 4	Massnahmenkombination Szenario Sub- und Desurbanisierung	51
Abbildung 5	Massnahmenkombination Reurbanisierung	52

Arbeitsbericht

Das Transport Policy Model – Fallstudie Region Zürich

Christian Heimgartner

IVT ETH Zürich
ETH Hönggerberg
CH-8093 Zürich

Telefon: +41 (0)1 633 33 25
Telefax: +41 (0)1 633 10 57
heimgartner@ivt.baug.ethz.ch

Mai 2002

Kurzfassung

Hochaggregierte Verkehrsmodelle bieten den Vorteil eines vergleichsweise geringen Aufwands hinsichtlich Datenbeschaffung und Implementation. Ein solches hochaggregiertes Verkehrsmodell, das die Abschätzung verkehrspolitischer Massnahmen erlaubt, ist das Transport Policy Model TPM. Anhand der Fallstudie Region Zürich wurde untersucht, inwieweit sich dieses Modell auf die Region Zürich anwenden lässt und worin etwaige Vorteile dieses Ansatzes im Vergleich zu anderen zu sehen wären. Dabei hat sich gezeigt, dass eine Anwendung grundsätzlich möglich ist, dass jedoch eine Vielzahl von Annahmen die Güte der Resultate beeinträchtigen. Da heute vielerorts und auch für die Region Zürich disaggregierte Modelle, die eine Bearbeitung detaillierter Fragestellungen erlauben, im Einsatz sind und der dafür notwendige Aufwand somit aufgebracht wird, stellt sich die Frage nach Sinn und Zweck solcher Modellansätze. Vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Entwicklung kann diesbezüglich gesagt werden, dass der Einsatz hochaggregierter Ansätze dann sinnvoll und effektiv ist, wenn entweder disaggregiertere Modelle aus den verschiedensten Gründen nicht einsetzbar sind oder aber durch das Modell konzeptionell Neuland beschritten wird.

Schlagworte

Hochaggregierte Verkehrsmodelle, verkehrspolitische Massnahmen, Nachhaltigkeit, Transport Policy Model TPM, Region Zürich, ETH Zürich, Institut für Verkehrsplanung und Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau (IVT)

Zitierungsvorschlag

Heimgartner, Ch. (2002) Das Transport Policy Model – Fallstudie Region Zürich, *Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung*, **120**, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau (IVT), ETH Zürich, Zürich.

Working paper

The Transport Policy Model – Case Study Region Zurich

Christian Heimgartner

IVT ETH Zurich
ETH Hoenggerberg
CH-8093 Zürich

Telefon: +41 (0)1 633 33 25
Telefax: +41 (0)1 633 10 57
heimgartner@ivt.baug.ethz.ch

May 2002

Abstract

Highly aggregated transport models offer the advantage of a comparatively small expenditure for data collection and processing. The Transport Policy Model TPM is such a highly aggregated transport model which allows the estimation of the impact of transport policies. This case study showed to what extent this model can be applied to the region of Zurich and what the advantages of this approach could be in comparison to other models. It could be shown that in principle the application is possible, but that many assumptions bias the quality of the results. As disaggregated models with traffic assignment to detailed networks have been applied to the Zurich region and to many other regions worldwide, one could see such an approach as questionable. With regard to sustainable development, it can be said, that the implementation of highly aggregated models such as TPM is reasonable, if for various reasons disaggregated models are not applicable or if such models can be seen as a new approach conceptually.

Keywords

Highly aggregated transport models, Transport policies, Sustainability, Transport Policy Model TPM, region Zurich, ETH Zurich, Institute of Transportation, Traffic, Highway and Railway Engineering (IVT)

Preferred citation style

Heimgartner, Ch. (2002) Das Transport Policy Model – Fallstudie Region Zürich, *Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung*, **120**, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau (IVT), ETH Zürich, Zürich.

1. Nachhaltige Entwicklung und hochaggregierte Verkehrsmodelle

Die nachhaltige Entwicklung strebt nach dauerhafter Umwelt-, Wirtschafts- und Gesellschaftsverträglichkeit. Da Verkehr im Sinne der ausgeführten Bewegung von A nach B¹ stets mit Umweltbelastungen wie beispielsweise Emissionen und Bodenverbrauch verbunden, Mobilität im Sinne der grundsätzlichen Möglichkeit, sich oder Gegenstände von A nach B zu bewegen², aber Ausdruck von Lebensqualität und mithin von Gesellschaftsverträglichkeit ist, führt dies vor dem Hintergrund der Idee der nachhaltigen Entwicklung zu folgender Devise:

Mehr Mobilität bei weniger Verkehr.

Diese Forderung mag widersprüchlich erscheinen. Macht man sich jedoch bewusst, dass Verkehr stets in Interaktion zur Flächennutzung steht, eröffnet sich ein Handlungsspielraum dahingehend, als eine aufeinander abgestimmte Entwicklung des Flächennutzungs- und Verkehrssystems der genannten Zielsetzung durchaus Folge zu leisten vermag. Für die Förderung einer derartigen Entwicklung gibt es eine Vielzahl planerischer Instrumente. Eines davon sind computergestützte mathematische Modelle. Für die Beantwortung verschiedenster Fragestellungen im Bereich des Verkehrs und der Flächennutzungen und deren möglichen Entwicklungen existieren eine Vielzahl von Modellansätzen³, die Untersuchungsgebiete mit zum Teil hohem Grad der Disaggregation und damit verbundener Detailtreue abzubilden vermögen, dies dank stark gesteigener Rechenleistungen der Computer in den letzten Jahren. Der damit verbundene Aufwand ist nicht nur im Bereich der eigentlichen Modellierung gross, sondern gerade auch betreffend Datenbeschaffung, -verwaltung und -auswertung nicht selten erheblich und sprengt manches zur Verfügung stehende Budget. Angesichts dieser Tatsache und vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Entwicklung stellt sich die Frage nach Sinn und Zweck hochaggregierter Modelle gegenüber disaggregierten Ansätzen neu respektive kann sie neu beantwortet werden, und zwar im Sinne folgenden Ziels:

¹ Nach Hidber, Meier und Oblozinska (1998) ist Verkehr Überwindung von Raum durch Personen, Güter oder Nachrichten.

² Grundsätzlich wird unter Mobilität die Möglichkeit zur Positionsveränderung von Menschen, Gütern oder Nachrichten in einem bestimmten System wie beispielsweise auch der Gesellschaft (z.B. Möglichkeit zur Begegnung mit Mitmenschen, zu sozialem Aufstieg) oder der Wirtschaft (z.B. Möglichkeit zur beruflichen Laufbahn) verstanden (nach Rotach, Cogliatti, Grob, Singer und Sollberger, 1993, S. 12.2). In dieser Studie steht das System Raum im Vordergrund.

³ Z.B. Verkehrsmodelle wie VISUM, POLYDROM, EMME/2 etc. oder auch integrierte Verkehrs- und Flächennutzungsmodelle wie TRANUS, MEPLAN, IRPUD, etc.; vgl. auch Wegener und Fürst (1999).

Bessere Modellresultate bei kleinerem Aufwand.

Dies bedeutet nun zweierlei:

Zum einen empfiehlt sich, da viele Fragen der Verkehrs- und Raumplanung anhand einer aggregierten Betrachtung in erster Näherung befriedigend genau beantwortet werden können, ein zweistufiges Verfahren des Modelleinsatzes in planerischen Aufgaben und damit verbundener Massnahmenevaluation: Anhand aggregierter Modellansätze sollen zunächst aus der Vielzahl möglicher Handlungsfelder diejenigen identifiziert werden, welche die grössten Verbesserungspotentiale bieten. In einem weiteren Schritt kann nun bei Bedarf eine weitere, verfeinerte Untersuchung und Evaluation von Massnahmen in den vorliegenden Handlungsfeldern anhand disaggregierter Ansätze folgen. Dadurch kann insgesamt eine Reduktion des Aufwandes zeitlich wie auch finanziell erzielt werden, ohne dass bezüglich der Güte der Untersuchungsergebnisse Einbussen in Kauf genommen werden müssen. Das technisch Mögliche muss deshalb nicht immer auch zum Einsatz gelangen.

Zum anderen ist auch in der Forschung und der Entwicklung neuer Modellansätze ein adäquater Mitteleinsatz angesagt. Gerade bei der Modellierung vernetzter und somit hochkomplexer Systeme, wie dies die Systeme Verkehr und Flächennutzung im Nachhaltigkeitskontext darstellen, empfiehlt es sich, erste Erfahrungen mit einfachen, abstrakten und somit aggregierten Modellen zu sammeln, um diese in der Folge weiterzuentwickeln (vom Groben ins Feine), anstatt gleich disaggregierte Modelle zu entwickeln, die wohl detailgetreu, in ihrem Ansatz aber womöglich ungeeignet sind.

Somit ergäbe sich ein zweifacher Nutzen hochaggregierter Modelle: Zum ersten wären sie konzeptionell den disaggregierten Modellansätzen überlegen, zum zweiten wären sie in ihrer Anwendung um ein vielfaches weniger aufwändig als die disaggregierten Modelle.

2. Anlass und Ziel dieser Fallstudie

Anlass zu dieser Studie ist ein Dissertations-Forschungsprojekt am Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau der ETH Zürich mit dem Titel „Systemdynamische Simulation von Verkehr und Flächennutzungen - Evaluation nachhaltigkeitsfördernder Massnahmen“ (vgl. Heimgartner, 2001a und 2001b). Bei der Entwicklung dieses systemdynamischen Modells von Verkehr und Flächennutzungen im Nachhaltigkeitskontext steht die Vernetzung der entsprechend wichtigsten Systemelemente im Vordergrund, sodass sich der Modellansatz aufgrund der im ersten Kapitel ausgeführten Überlegungen auf eine entsprechend abstrakte und hochaggregierte Natur zu beschränken hat. Dabei kann die Anwendung eines bereits verfügbaren hochaggregierten Planungsmodells im Bereich Verkehr und Flächennutzung für die Entwicklung des systemdynamischen Ansatzes wertvolle Hinweise zu Tage fördern. Ein solches hochaggregiertes Verkehrsmodell ist das Transport Policy Model TPM (vgl. TRL, 2001b). Dieses soll hierfür auf die Region Zürich angewandt werden, wobei die Resultate primär im Lichte der Modelltechnik von Interesse sind. Dabei stehen folgende Fragen im Vordergrund:

- Welche Elemente berücksichtigt das Modell und welche Wirkungsbeziehungen liegen den Interaktionen zwischen diesen zugrunde?
- Wie weit vermag das TPM die Interaktion zwischen Verkehr und Flächennutzung abzubilden?
- Ist eine Beurteilung der Auswirkungen von Massnahmen vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Entwicklung möglich?
- Ist das Modell den aktuellen disaggregierten Modellansätzen konzeptionell voraus?
- Befriedigen die Modellresultate im Vergleich zum Aufwand?

Die Resultate im Sinne einer Analyse des Potentials verkehrspolitischer Massnahmen für die Region Zürich sind von sekundärer Bedeutung.

3. Das Transport Policy Model TPM

3.1 Modellhintergrund und -geschichte

Das am Transport Research Laboratory in Crowthorne, Grossbritannien⁴ entwickelte Transport Policy Model TPM erlaubt die Abschätzung der Auswirkungen von verkehrspolitischen Massnahmen auf das Verkehrsgeschehen und die Umwelt von Städten und ihrer Agglomerationen. Der Entwicklung des TPM gehen einige Studien und damit verknüpfte Modellentwicklungen voraus, die gerade die Absicht verfolgten, ein Instrument zu entwickeln, das eine erste grobe Abschätzung der Auswirkungen politischer Massnahmen auf das Verkehrsgeschehen namentlich in britischen Städten ermöglicht und damit die Identifikation wirkungsvoller Handlungsfelder für eine weitergehende Untersuchung ermöglicht. So wird in Oldfield (1993) ein strategisches Verkehrsmodell für die Region London vorgestellt, das auf 17 konzentrisch angeordneten Zonen aufbaut und dessen Struktur und Algorithmen weitgehend ins TPM Eingang gefunden haben (vgl. Abschnitt 3.2.2). Dasgupta, Oldfield, Sharman und Webster (1994) haben anhand des für einfache Anwendung modifizierten Strategic Transport Model gemäss Oldfield (1993) als auch mittels zwei weiteren Modellen, dem auf zwei Zonen basierenden Single Link Model und dem HAWKINS-Modell, einem Mikrosimulationsmodell der Verkehrsmittelwahl (siehe Webster und Dasgupta, 1993), die Auswirkungen von Massnahmen im Verkehr für fünf Städte abgeschätzt und analysiert.

3.2 Modellstruktur

Das TPM ist kein systemdynamisches Modell, das die Simulation einer Entwicklung über einen Zeitraum erlaubt. Es ist ein Prognosemodell, das, basierend auf den Eingabegrössen, mittels der Modellmechanismen die entsprechenden Ausgabegrössen für einen bestimmten Prognosezustand ermittelt. Die notwendigen Eingabegrössen, die Modellmechanismen und die Ausgabegrössen sollen zur Illustration der Modellstruktur im Folgenden beschrieben sein.

⁴ Siehe auch im Internet unter <http://www.trl.co.uk>.

3.2.1 Eingabegrössen

Daten

Das TPM Version 1.3a, das ein Untersuchungsgebiet durch drei Zonen, namentlich die innere, die äussere und die externe Zone, zu den Zeitabschnitten der Morgenspitze und tagsüber modelliert, erfordert die Eingabe von Daten zur Geometrie des Untersuchungsgebiets, zur Soziodemographie, zu Verkehrsangebotsmerkmalen, zu Kostenelementen (Elemente der generalisierten Kosten) und zu Verkehrsnachfragemerkmalen (Anzahl Wege, Elastizitäten), dies für das ebenfalls einzugebende und damit zu definierende Basisjahr. Diese Daten im Einzelnen sind in den Tabellen 1 bis 4 aufgeführt. Tabellen 1 und 2 zeigen den Bedarf an zonen- und zeitabschnittsunabhängigen Daten.

Tabelle 1 Zonen- und zeitabschnittsunabhängigen Daten

Geometrische Daten⁵

Radius der Zentrumszone in km

Radius der äusseren Zone in km

Arbeitslosenquote

Verfügbare Verkehrsmittel⁶Verfügbare Verkehrszwecke⁶

Fahrpreise des öffentlichen Verkehrs pro km

Grundtaxe resp. Minimalbillettpreis des öffentlichen Verkehrs

Äquivalenzwert in Passagier-Wagen-Einheiten (Passenger Car Unit PCU)

PW

Taxi

LGV (light goods vehicles)

Motorfahrrad

Bus

Velo

OGV (other goods vehicles)

Besetzungsgrade PW

je Fahrzeug

je Zeitabschnitt

Geschwindigkeiten im Langsamverkehr

zu Fuss

per Velo

Bezinverbrauchsparameter

Basisjahr-Benzinpreis je Liter

Koeffizienten A, B und C

Redistributionsparameter

zwingende Wege (Arbeit, Bildung)

nichtzwingende Wege (übrige)

⁵ Durch die geometrischen Daten wird nicht nur der Raumbezug der drei Zonen und damit verbundene weitere Datenbezüge definiert, sondern sie dienen auch als Basis für die Modellierung eines hochaggregierten Verkehrsnetzes in und zwischen den drei Zonen.

⁶ In früheren Versionen mussten zusätzlich noch die generell verfügbaren Verkehrsmittel (Auswahl: PW, Motorfahrrad, Bus, Zug, LRT (light rail transit), Taxi, Velo, zu Fuss) wie auch die Verkehrszwecke (Auswahl: wohnortbasierte Verkehrszwecke: Pendelverkehr zur Arbeit, zur Bildung, Einkaufsverkehr, Freizeitverkehr, wohnortbasierter Nutzverkehr, restliche; nicht wohnortbasierte Verkehrszwecke: nicht wohnortbasierte Nutzverkehr, restliche) bezeichnet werden. Ab der Version 1.3 werden diese Angaben automatisch aus der Wege-Matrix generiert (siehe Kapitel 4.1), da ja dort nur Verkehrsmittel und -zwecke verwendet werden, die auch verfügbar sind.

Tabelle 2 Zonen- und zeitabschnittsunabhängigen Daten (Fortsetzung)

Zeit-Werte
je Zweck für die Verkehrsmittel PW, Motorfahrrad, Bus, Zug, Tram, Taxi, Velo und zu Fuss
Zugangs-Zeit-Faktor
je Zweck für die Verkehrsmittel PW, Motorfahrrad, Bus, Zug, Tram, Taxi und Velo
Warte-Zeit-Faktor
je Zweck für die Verkehrsmittel Bus, Zug, Tram und Taxi

Die Daten gemäss Tabelle 3 sind je Zone einzugeben.

Tabelle 3 Daten je Zone

PW pro Einwohner
Bevölkerungszahl
Haushaltsgrösse
Anteil der älteren Bevölkerung an den Haushalten ohne PW
Anteil der älteren Bevölkerung
Anteil der Kinder über fünf Jahren (5-15 Jahre)
Zugangszeiten (zu Fuss)
je Verkehrsmittel und Zeitabschnitt
Mittlere Strassengeschwindigkeiten
je Zeitabschnitt
Prozentualer Anteil des Güterverkehrs
nach LGV (light goods vehicles) und OGV (other goods vehicles) je Zeitabschnitt
Wartezeiten im öffentlichen Verkehr
je Verkehrsmittel und Zeitabschnitt
Besetzungsgrade
je Verkehrsmittel und Zeitabschnitt
Kapazitäten Bus (Sitzplätze)
je Zeitabschnitt

Das TPM beschränkt sich auf die Berücksichtigung der Parkplatzsituation einzig in der inneren Zone. Dazu sind die Daten gemäss Tabelle 4 erforderlich.

Tabelle 4 Parkplatz-Daten innere Zone

Prozentuale Belegung während der Morgenspitze:

 Gratisparkplätze auf der Strasse

 Kostenpflichtige Parkplätze auf der Strasse

Prozentuale Belegung tagsüber:

 Gratisparkplätze auf der Strasse

 kostenpflichtige Parkplätze auf der Strasse

Mittlere Kosten der Parkplätze in Pence:

 Morgenspitze

 Tagsüber

Anzahl kostenpflichtiger Parkhäuser

Anzahl Parkplätze:

 Anzahl Nicht-Wohn-Parkplätze

 kostenpflichtige Parkplätze auf der Strasse

 kostenpflichtige Parkplätze neben der Strasse

 Gratisparkplätze auf der Strasse

Des weiteren gilt es, sowohl eine Weg- als auch eine Elastizitäten-Matrix zu definieren. Erstere legt die Anzahl Wege je Tageszeit (Morgenspitze oder tagsüber), Quelle, Ziel, Zweck, Verkehrsmittel und PW-Besitzkategorie⁷ fest, letztere die Elastizitäten je Zweck, PW-Besitzkategorie und Verkehrsmittel (vgl. auch Abschnitt 4.1). Dabei gilt es zu beachten, dass das Modell Wege zwischen allen drei Zonen und innerhalb der inneren und äusseren Zonen, nicht aber innerhalb der äusseren Zone berücksichtigt.

Szenarioparameter

Das TPM bietet die Möglichkeit, die Wirksamkeit der Massnahmen für verschiedene Szenarios zu prognostizieren. Die Parameter zur Definition der verschiedenen Szenarios sind folgende:

⁷ TPM berücksichtigt die PW-Besitzkategorien Haushalt(e) ohne PW, Haushalt(e) mit 1 PW und Haushalt(e) mit 2 oder mehr PW.

- je Zone:
 - Bevölkerung
 - Haushaltsgrösse
 - PW pro Einwohner
 - Arbeitsplatzzunahmerate relativ (vgl. unten)
- global:
 - Arbeitsplatzzunahmerate global
 - Arbeitslosenquote
 - Real-Einkommens-Index
 - Benzinpreis-Faktor

Zur Definition verschiedener Szenarios sind diese einzelnen Parameter in ihrer Grösse und Kombination entsprechend festzulegen. Dabei ist zu beachten, dass der Parameter Arbeitsplatzzunahmerate global die Arbeitsplatzzunahme global, das heisst für alle drei Zonen, definiert, während durch die drei relativen Arbeitsplatzzunahmeraten die Verteilung der gesamten Arbeitsplatzzunahme auf die drei Zonen festgelegt wird.

Massnahmenparameter

TPM stellt folgende Massnahmen zur Verfügung:

- Globale Massnahmen:
 - Veränderung Preise Busbillett
 - Veränderung Preise Zugbillett
 - Veränderung Preise Trambillett
 - Veränderung Servicelevel⁸ Bus
 - Veränderung Servicelevel Zug
 - Veränderung Servicelevel Tram

⁸ Mass für die angebotenen Betriebs-km (vgl. Oldfield, R.H., 1993).

- Massnahmen betreffend die innere Zone:
 - Veränderung Parkplatzgebühren
 - Veränderung Parkplatzangebot
 - Strassengebühr Zentrumszufahrt:
 - Morgenspitze
 - Tagsüber

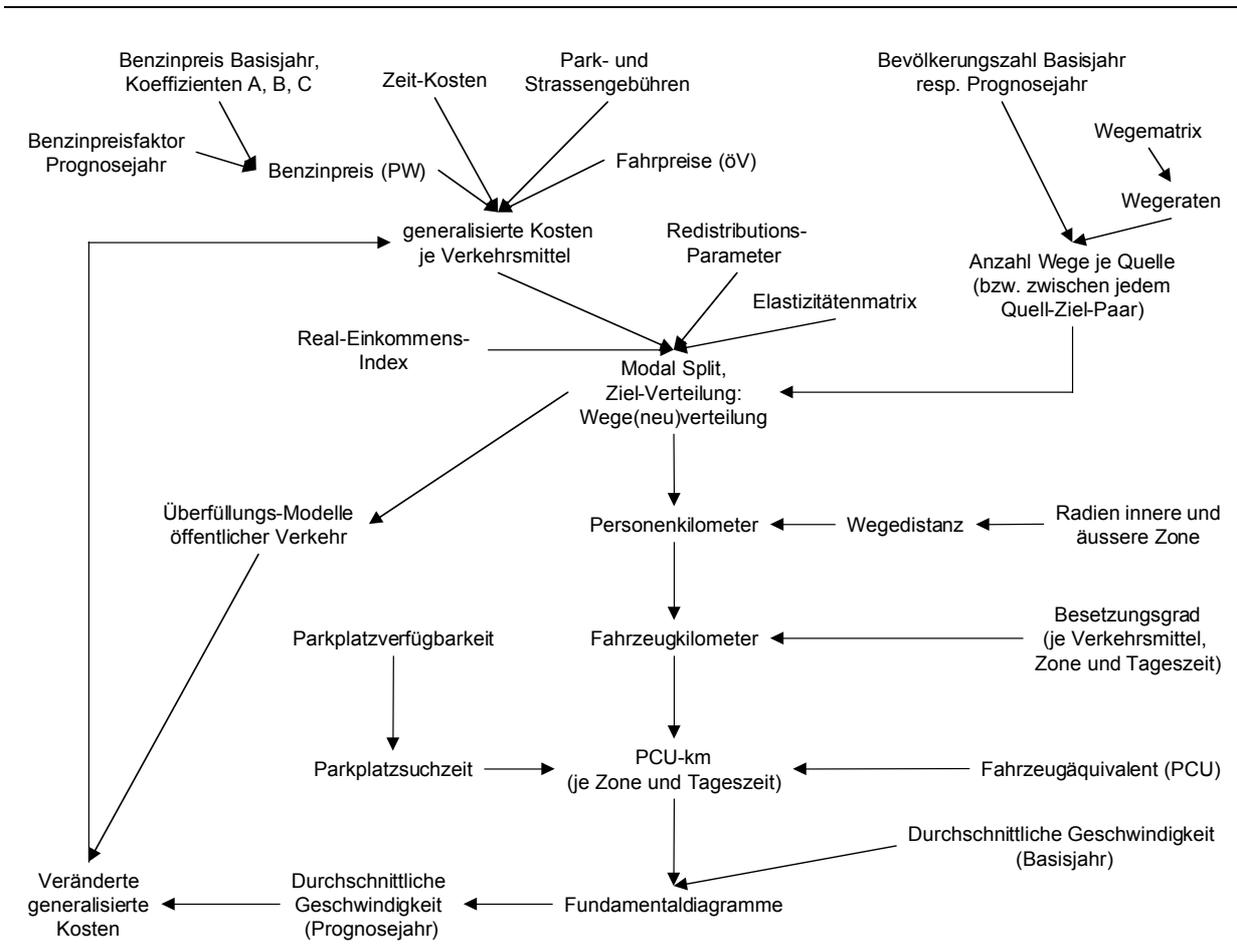
Bis auf die Strassengebühr Zentrumszufahrt, die in Pence einzugeben ist, sind die anderen Massnahmen prozentual im Vergleich zum Basisjahr zu treffen.

3.2.2 Modellmechanismen

Für eine verständliche und abschliessende Darstellung der Modellmechanismen ist die Kenntnis der exakten Modellalgorithmen Voraussetzung. Die bis und mit TPM-Version 1.3a verfügbaren Unterlagen dokumentieren diese noch nicht abschliessend. In Anlehnung an TRL (2001a), TRL (2001b) und Oldfield (1993) ist ein Überblick über die wesentlichen Modellmechanismen im TPM jedoch durchaus möglich.

Abbildung 1 zeigt grob die wichtigsten Strukturelemente und Wirkungsbeziehungen des TPM.

Abbildung 1 Wirkungsgraph des Transport Policy Model



Das TPM ist ein sogenanntes Gleichgewichtsmodell, das ein Gleichgewichtszustand zwischen Verkehrsangebot und -nachfrage ermittelt. Modelliert werden die Verkehrsströme zwischen den drei Zonen (innere, äussere und externe Zone) sowie die Verkehre je innerhalb der inneren und der äusseren Zone während je der Morgenspitze (AM peak, 7.00 - 10.00 Uhr) und der Zeit tagsüber (Inter peak, 10.00 bis 16.00 Uhr). Dabei werden wohnortbasierte als auch nicht wohnortbasierte Wege abgebildet. Die Anzahl wohnortbasierter Wege wird durch Multiplikation der Bevölkerungszahlen je Zone und PW-Besitzkategorie mit den aus den Eingabedaten errechneten Wegeraten für dieses Bevölkerungssegment generiert. Die Anzahl nicht wohnortbasierter Wege hingegen errechnet sich aus der relevanten Anzahl Wegenden derjenigen Wegearten, die in Funktion mit den betrachteten nicht wohnortbasierten Wegen stehen (z.B. errechnet das Programm durch Gegenüberstellung der nichtwohntbasierten Nutzwege Angestellter mit Quelle in der betrachteten Zone und mit den wohnortbasierten Arbeitswegen mit Ziel in der betrachteten Zone die entsprechende Wegerate als Basis für die Bestimmung der nichtwohntbasierten Nutzwege Angestellter). Die Zahl der Wege je Quelle und PW-

Besitzkategorie bleibt während allen Rechendurchläufen unverändert, Wegeinduktion oder -unterdrückung in Funktion zu Kosten wird nicht modelliert, ebensowenig die Wahl der Abfahrtszeit.

Generalisierte Kosten bilden die Basis für die Schätzung von Wegeverteilung und Modal-Split. Sie beinhalten Zeit-Kosten (Zugangszeiten, Abgangszeiten, Wartezeiten, Aufenthaltszeit im Verkehrsmittel) und Geld-Kosten wie öV-Preise, Parkkosten im zentralen Gebiet und Strassengebühren. Die Zeit-Kosten-Elemente werden dabei mittels entsprechender Zeitwerte gewichtet in Rechnung gestellt.

Wegeverteilung und Modal-Split werden simultan mittels folgenden Formeln (1-4) (nach Oldfield, 1993 und TRL, 2001a und 2001b) geschätzt:

$$P_{odpctf} = \frac{P_{odpctb} \cdot Y_{odpct}^{\beta_p}}{\sum_d P_{odpctb} \cdot Y_{odpct}^{\beta_p}}, \quad (1)$$

mit

P_{odpctf} = Anteil an den Wegen zwischen Quelle o und Ziel d für Zweck p eines Haushaltes der PW-Besitzkategorie c zum Zeitpunkt tf im Prognosejahr,

P_{odpctb} = Anteil an den Wegen zwischen Quelle o und Ziel d für Zweck p eines Haushaltes der PW-Besitzkategorie c zum Zeitpunkt tb im Basisjahr,

β_p = Redistributionsparameter für den Zweck p ,

Y_{odpct} = verkehrsmittelgewichteter durchschnittlicher Widerstand zwischen Quelle o und Ziel d für Zweck p eines Haushaltes der PW-Besitzkategorie c zum Zeitpunkt t im Basisjahr.

Dabei ist der verkehrsmittelgewichtete durchschnittliche Widerstand in Gleichung (1) gegeben durch

$$Y_{odpct} = \sum_m P_{odpmtf} \left(\frac{G_{odpmtf}}{R \cdot G_{odpmtb}} \right)^{\alpha_{pmc}}, \quad (2)$$

mit

G_{odpmtf} = generalisierte Kosten zwischen Quelle o und Ziel d für Zweck p des Verkehrsmittels m zum Zeitpunkt tf im Prognosejahr,

G_{odpmtb} = generalisierte Kosten zwischen Quelle o und Ziel d für Zweck p des Verkehrsmittels m zum Zeitpunkt tb im Basisjahr,

R = Realeinkommensindex,

α_{pmc} = Elastizitäts-Kalibrationsparameter für Zweck p , Verkehrsmittel m und Haushalts-PW-Besitzkategorie c ,

$P_{odpmctf}$ = Anteil an den Wegen zwischen Quelle o und Ziel d für Zweck p und Verkehrsmittel m eines Haushaltes der PW-Besitzkategorie c zum Zeitpunkt tf im Prognosejahr.

Die Kalibration der Modal-Split-Gleichung erfolgt mittels der Kalibrations-Parameter, die aus den eingegebenen Elastizitäten anhand der Beziehung

$$e_{fpmc} = -\alpha_{pmc} (1 - \bar{P}_{pmc}) \frac{\bar{f}_{pmc}}{\bar{G}_{odpmtb}} \quad (3)$$

mit

\bar{P}_{pmc} = Anteil an den Wegen für Zweck p und Verkehrsmittel m eines Haushaltes der PW-Besitzkategorie c , gemittelt über alle Quell-Ziel-Beziehungen,

\bar{f}_{pmc} = Geldkosten für Zweck p und Verkehrsmittel m eines Haushaltes der PW-Besitzkategorie c , gemittelt über alle Quell-Ziel-Beziehungen und

\bar{G}_{odpmtb} = totale generalisierte Kosten zwischen Quelle o und Ziel d für Zweck p und Verkehrsmittel m eines Haushaltes der PW-Besitzkategorie c zum Zeitpunkt t im Basisjahr, gemittelt über alle Quell-Ziel-Beziehungen,

bestimmt werden.

Das Verkehrsmittelwahl-Verhältnis im Prognosejahr $P_{odpmctf}$ wird aus dem Basisjahr-Verkehrsmittelwahl-Verhältnis $P_{odpmctb}$ durch

$$P_{odpmctf} = \frac{P_{odpmctb} \left(\frac{G_{odpmtf}}{R \cdot G_{odpmtb}} \right)^{\alpha_{pmc}}}{\sum_m P_{odpmctb} \left(\frac{G_{odpmtf}}{R \cdot G_{odpmtb}} \right)^{\alpha_{pmc}}} \quad (4)$$

erhalten. Für die Prognosejahre wird angenommen, dass nur jene Verkehrsmittel verfügbar sind, die auch im Basisjahr zwischen den drei Zonen benutzt wurden. Zudem ist eine mögliche Umverteilung (Redistribution) der Wege dahingehend begrenzt, als Übereinstimmung zwischen der exogen vorgegebenen Anzahl Arbeitsplätze und der Arbeitswege erforderlich ist.

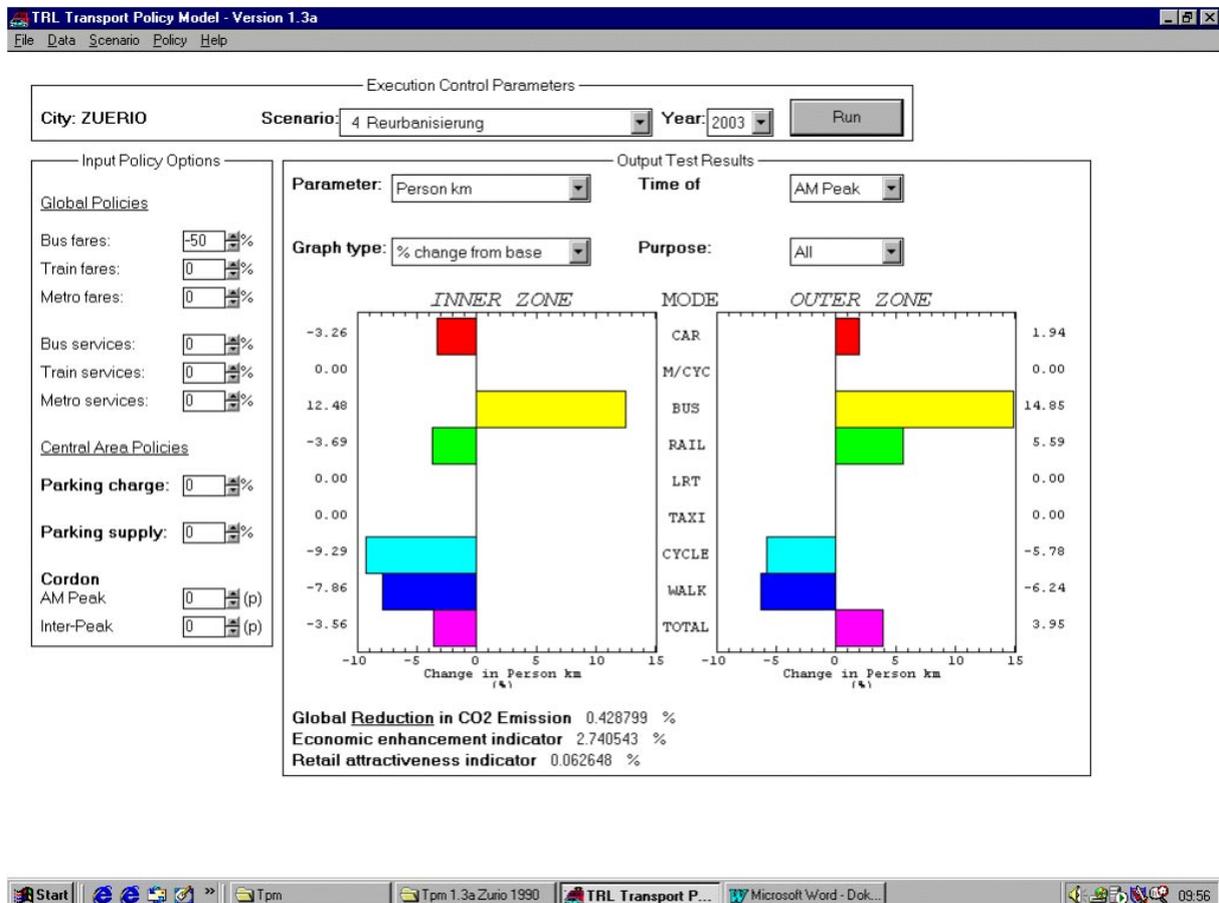
Personenkilometer werden durch Multiplikation der Anzahl Wege zwischen jedem Quell-Ziel-Paar mit der entsprechenden Wegdistanz, ermittelt aus den Zonenradien, errechnet. Anschliessend werden diese durch den Besetzungsgrad (je Verkehrsmittel, Zone und Tageszeit) dividiert, woraus Fahrzeugkilometer resultieren. Unter Berücksichtigung der durch das Parkierungs-Modell der inneren Zone anhand Parkplatzverfügbarkeit und damit verbundener Parkplatzsuchzeit zusätzlich erzeugten PW-Kilometer werden in der Folge die Fahrzeugkilometer der Verkehrsmittel des Individualverkehrs mit dem entsprechenden Fahrzeugäquivalent (PCU) und mit der durchschnittlichen Geschwindigkeit im Basisjahr multipliziert, womit der Verkehrsfluss erhalten wird. Das Parkierungs-Modell basiert auf der Annahme, dass PW-Fahrende, die im Zentrum keinen Parkplatz finden, an die Zonenperipherie zurückfahren und von dort aus zu Fuss ins Zentrum gelangen. Anhand gebietsweiter Fundamentaldiagramme wird aus dem Verkehrsfluss die durchschnittliche Geschwindigkeit im Prognosejahr ermittelt, woraus wiederum und unter Berücksichtigung des öffentlichen Verkehrs, für den Überfüllungs-Modelle die Komforteinbussen infolge stehender Passagiere ermitteln, veränderte generalisierte Kosten geschätzt werden.

Durch Iteration sucht das TPM nach dem Gleichgewicht zwischen Verkehrsangebot und -nachfrage. Führen beispielsweise Veränderungen der Bevölkerungszahlen zu anhand der generalisierten Reisekosten ermittelten veränderten Verkehrsmittel- und Zielwahl und damit zu einem neuen Satz Wege, wird in der Folge mittels der Fundamental- und Überfüllungsmodelle und auch des Parkierungsmodells ein neuer Satz generalisierter Kosten errechnet, was wiederum zu Veränderungen betreffend Verkehrsmittel- und Zielwahl führt. Die Iteration wird dann beendet, wenn die Differenz zwischen zwei Iterations-Schritten eine bestimmte Toleranzgrenze unterschreitet.

3.2.3 Ausgabegrössen

Die ermittelten Grössen werden von TPM entsprechend Abbildung 2 dargestellt.

Abbildung 2 Ausgabefenster in TPM



Die zentralen Ausgabegrößen von TPM sind die durch die gewählten Massnahmen bewirkten Veränderungen folgender Größen im Vergleich zum Basiszustand:

- Wegenden
- Wegstarts
- Personenkilometer
- Fahrzeug-PCU-km
- Geschwindigkeiten und Verkehrssicherheit
- Durchschnittliche Reisezeit

Diese Werte lassen sich für die innere und äussere Zone wahlweise prozentual oder absolut je Tageszeit (AM peak, Inter peak) anzeigen. Während die Wegenden, Wegstarts, Personenkilometer und die durchschnittliche Reisezeit für alle Verkehrszwecke ermittelt und angegeben werden, sind die Fahrzeug-PCU-km wie auch die Geschwindigkeiten und Verkehrssicherheit Grössen, die sich auf den gesamten Verkehrsfluss auf der Strasse beziehen und somit unabhängig vom Verkehrszweck sind. Entsprechend lassen sich diese Resultate nicht nach Verkehrszweck differenziert und nur für die Verkehrsmittel auf der Strasse anzeigen. Die durchschnittliche Reisezeit versteht sich als solche in jeder Zone, gewichtet nach den Wegenden. Die Veränderungen werden sowohl für die einzelnen Verkehrsmittel als auch total angegeben. Dabei ist das absolute Total die Summe aller absoluten Veränderungen je Verkehrsmittel, das relative Total die Summe der relativen Veränderungen je Verkehrsmittel, gewichtet entsprechend nach Verkehrsmittel.

Des weiteren gibt TPM Werte für drei globale Indikatoren an:

- Globale Reduktion der CO₂-Emissionen
- Indikator des Wirtschaftswachstums
- Indikator der Attraktivität für Einzel- und Detailhandel

Die CO₂-Emissionen werden basierend auf den in Department of the Environment, Transport and the Regions (1997) definierten Methoden ermittelt. Der Indikator des Wirtschaftswachstums steht in Relation zur totalen Anzahl Arbeits-Wege, der Indikator der Attraktivität für Einzel- und Detailhandel zur totalen Anzahl Anzahl aller Wege ohne Arbeits-, Bildungs- und Nutzverkehrswege (Einkaufs- und Freizeitwege und andere), welche die innere und äussere Zone zum Ziel haben.

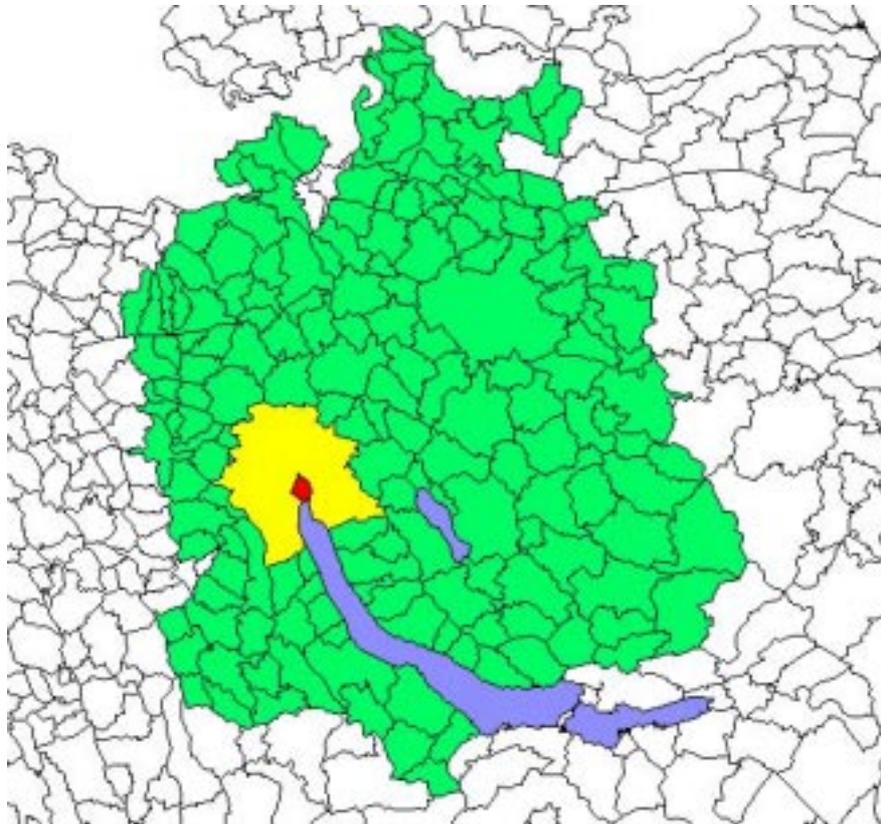
4. Fallbeispiel Zürich

Um Antworten auf die Fragen gemäss 2. Anlass und Ziel dieser Fallstudie zu finden, wird das TPM auf die Region Zürich angewendet.

4.1 Daten und deren Quellen

Das Modell wurde für das Basisjahr 1998 implementiert, da dies im TPM das frühestmögliche Jahr ist und etliche Daten aus dem Zeitraum vor 1998 stammen. Für diese Erstanwendung des TPM auf die Region Zürich wurde auf eine aufwändige Datenaufbereitung beispielsweise anhand des Mikrozensus zugunsten einer zeitsparenden Verwendung vorhandener Grobdaten verzichtet, wobei die im Folgenden erläuterten Datensätze aus verschiedenen Jahren stammen. Zwar sind hinsichtlich der Daten betreffend die Bevölkerung (siehe Tabelle 7) auch Werte für 1998 verfügbar. Da sich jedoch die Werte für die Wege, ermittelt basierend auf Tiefbauamt des Kantons Zürich, Jenni+Gottardi AG (1994) und Statistisches Amt der Stadt Zürich (1999), auf die Jahre 1990 und 1992 beziehen, würde ein Verwenden der Bevölkerungsdaten für das Jahr 1998 zu einer Unterschätzung der Wegeraten durch TPM führen, da im Zeitraum seit 1990 respektive 1992 ein Abwandern der Bevölkerung aus der Stadt in die umliegenden Gebiete zu verzeichnen ist (vgl. Statistisches Amt des Kantons Zürich, 1999). Aufgrund der Datenlage könnten theoretisch die Verkehrsmittel PW, Bus, Zug, Tram (LRT), Velo und zu Fuss berücksichtigt werden. Da jedoch im TPM das Verkehrsmittel LRT im Falle von Zürich zu unterschiedlich im Vergleich zum Bus und somit unplausibel reagiert, wurde das Verkehrsmittel Tram dem Bus subsummiert. Den drei Zonen wurden die Gebiete gemäss Abbildung 3 zugeordnet.

Abbildung 3 Zonenzuteilung Region Zürich



- innere Zone: Kreis 1 Stadt Zürich
- äussere Zone: Stadt Zürich exkl. Kreis 1
- externe Zone: Kanton Zürich exkl. Stadt Zürich

Details zu den Daten und Quellen im einzelnen sind den Tabellen 5 bis 9 zu entnehmen.

Tabelle 5 Zonen- und zeitabschnittsunabhängigen Daten

Geometrische Daten	geschätzt aufgrund Karte (innere Zone: Kreis 1, äussere Zone: restliche Stadt, externe Zone: restlicher Kanton Zürich)
Radius der Zentrumszone in km	
Radius der äusseren Zone in km	
Arbeitslosenquote	Wert 1990 hergeleitet aufgrund Statistisches Amt des Kantons Zürich (1999)
Verfügbare Verkehrsmittel	siehe Fussnote 6
Verfügbare Verkehrszwecke	siehe Fussnote 6
Fahrpreise des öffentlichen Verkehrs pro km	Annahmen aufgrund Zonentarif Erwachsene 2. Klasse für 1-2 Zonen nach Zürcher Verkehrsverbund (2000)
Grundtaxe resp. Minimalbillettpreis des öffentlichen Verkehrs	Annahmen aufgrund Einzelbillettтарife Erwachsene 2. Klasse nach Zürcher Verkehrsverbund (2000)
Passagier-Wagen-Einheit-Äquivalenzwert	Default-Werte TPM Version 1.3a
PW	
Taxi	
LGV (light goods vehicles)	
Motorfahrrad	
Bus	
Velo	
OGV (other goods vehicles)	
Besetzungsgrade PW	Annahme in Anlehnung an Dietrich, Rotach und Boppart (1993).
je Fahrzeug	
je Zeitabschnitt	
Geschwindigkeiten im Langsamverkehr	Default-Werte TPM Version 1.3a
zu Fuss	
per Velo	
Bezinverbrauchsparameter	Basisjahr-Benzinpreis je Liter: Interpolation aufgrund Bundesamt für Statistik (1998) und Touring Club Schweiz (2001). Koeffizienten A, B und C: Default-Werte in TPM Version 1.3a
Basisjahr-Benzinpreis je Liter	
Koeffizienten A, B und C	
Redistributionsparameter	Werte für nicht monozentrische Städte gemäss TRL (2001b)
zwingende Wege (Arbeit, Bildung)	
nichtzwingende Wege (übrige)	

Tabelle 6 Zonen- und zeitabschnittsunabhängigen Daten (Fortsetzung)

Zeit-Werte (je Zweck für die Verkehrsmittel PW, Motorfahrrad, Bus, Zug, Tram, Taxi, Velo und zu Fuss)	PW, Bus und Bahn: Annahmen aufgrund holländischer Zeitwerte gem. Abay und Axhausen (2000) (Verhältnisse der verschiedenen Werte untereinander) und Keller, Iten, Aebi, Altheer und Frick (1998) (Zeitwert für Pendelverkehr PW) Velo: Annahme gleicher Zeitwert wie für Bus zu Fuss: Annahme Zeitwert doppelt so gross wie für Velo analog den Default-Werten in TPM Version 1.3a
Zugangs-Zeit-Faktor (je Zweck für die Verkehrsmittel PW, Motorfahrrad, Bus, Zug, Tram, Taxi und Velo)	Default-Werte in TPM Version 1.3a
Warte-Zeit-Faktor (je Zweck für die Verkehrsmittel Bus, Zug, Tram und Taxi)	Default-Werte in TPM Version 1.3a

Tabelle 7 Daten je Zone

PW pro Einwohner	Werte für 1990 (für Kreis 1 und restliche Stadt hergeleitet aus der Verteilung des Bestands leichter Motorfahrzeuge auf die einzelnen Kreise) aus Statistisches Amt der Stadt Zürich 1991, Statistisches Amt des Kantons Zürich (1999)
Bevölkerungszahl	Werte für 1990 aus Statistisches Amt der Stadt Zürich (1993), Statistisches Amt des Kantons Zürich (1996)
Haushaltsgrösse	Werte 1990 hergeleitet aus Bevölkerungszahl (Werte für 1990) und Anzahl Haushaltungen (Werte für 1990) gemäss Statistisches Amt der Stadt Zürich (1999), Statistisches Amt des Kantons Zürich (1999)
Anteil der älteren Bevölkerung an den Haushalten ohne PW	Werte 1994 hergeleitet aus Bundesamt für Statistik (1995a, 1995a)
Anteil der älteren Bevölkerung	Werte 1990 hergeleitet aus Anteilen je Altersklassen nach Statistisches Amt der Stadt Zürich (1993), Statistisches Amt des Kantons Zürich (1996)
Anteil der Kinder über fünf Jahren (5-15 Jahre)	Werte 1990 hergeleitet aus Anteilen je Altersklassen nach Statistisches Amt der Stadt Zürich (1993), Statistisches Amt des Kantons Zürich (1996)

Tabelle 8 Daten je Zone (Fortsetzung)

Zugangszeiten (zu Fuss) je Verkehrsmittel und Zeitabschnitt	Annahmen
Mittlere Strassengeschwindigkeiten je Zeitabschnitt	Annahmen in Anlehnung an Dietrich et al. (1993) Brändli und Rangosch (1991), S. 7
Prozentualer Anteil des Güterverkehrs nach LGV (light goods vehicles) und OGV (other goods vehicles) je Zeitabschnitt	LGV: Annahmen, OGV: Annahmen in Anlehnung auf Daten aus Bundesamt für Strassen und Sigmaphan AG (1999)
Wartezeiten im öffentlichen Verkehr je Verkehrsmittel und Zeitabschnitt	Annahme in Anlehnung an Brändli und Müller (1981)
Besetzungsgrade je Verkehrsmittel und Zeitabschnitt	Annahmen
Kapazitäten Bus (Sitzplätze) je Zeitabschnitt	Annahmen, quasi als Mittel zwischen den Bustypen und 1 Komposition Tram 2000 in Anlehnung an Brändli und Dasen (1997), S. 14-15 und Brändli und Rangosch (1991), S. 13

Tabelle 9 Parkplatz-Daten innere Zone

Prozentuale Belegung während der Morgenspitze:	Annahmen
Gratisparkplätze auf der Strasse	
Kostenpflichtige Parkplätze auf der Strasse	
Prozentuale Belegung tagsüber:	Annahmen
Gratisparkplätze auf der Strasse	
kostenpflichtige Parkplätze auf der Strasse	
Mittlere Kosten der Parkplätze in Pence:	Annahme in Anlehnung an SNZ Ingenieurbüro AG (1996)
Morgenspitze	
Tagsüber	
Anzahl kostenpflichtiger Parkhäuser	Anzahl Parkhäuser allg. zugänglich gemäss Walther (2000)
Anzahl Parkplätze:	
Anzahl Nicht-Wohn-Parkplätze	Parkplätze auf privatem Grund gemäss Walther (2000)
kostenpflichtige Parkplätze auf der Strasse	Parkplätze mit beschränkter Parkdauer exkl. blaue Zone gemäss Walther (2000)
kostenpflichtige Parkplätze neben der Strasse	kostenpflichtige Parkplätze in Parkhäusern gemäss Walther (2000)
Gratisparkplätze auf der Strasse	Blaue Zone gemäss Walther (2000)

Für die Implementation der Datei Alltrips.dat⁹ waren, gestützt auf vorhandene Ausgangsdaten, eine Reihe von Annahmen notwendig. Die vorhandenen Daten erlauben eine Berücksichtigung der Verkehrszwecke wohnortbasierter Pendelverkehr zur Arbeit, wohnortbasierter Einkaufsverkehr, wohnortbasierter Freizeitverkehr und nicht wohnortbasierter Nutzverkehr. Deren Verteilung auf die Tageszeiten erfolgte entsprechend folgender Annahmen:

⁹ Die Wege-Matrix Alltrips.dat ist eigenhändig als Textdatei zu erstellen und in den TPM-Ordner auf dem Rechner zu kopieren.

- wohnortbasierter Pendelverkehr zur Arbeit:
 - 80% während der Morgenspitze
 - 20% tagsüber¹⁰
- wohnortbasierter Einkaufsverkehr:
 - 0% während der Morgenspitze
 - 100% tagsüber
- wohnortbasierter Freizeitverkehr:
 - 0% während der Morgenspitze
 - 100% tagsüber
- nicht wohnortbasierter Nutzverkehr:
 - 50% während der Morgenspitze
 - 50% tagsüber¹¹

Die Anzahl der Wege für die im Modell möglichen Quell-Ziel-Beziehungen (siehe Abschnitt 3.2) und die berücksichtigten vier Verkehrszwecke wurden wie folgt ermittelt:

- Pendelverkehr:
Quell-, Ziel- und Binnenverkehr bezüglich
 - ganze Stadt (innere und äussere Zone) nach Tiefbauamt des Kantons Zürich, Jenini+Gottardi AG (1994), Abb. 7.3 Wege pro durchschnittlicher Werktag, S. 62 (Werte für 1992¹²).
 - Kreis 1 (innere Zone) nach Statistisches Amt der Stadt Zürich (1999) (Werte 1990)
 - ganze Stadt exkl. Kreis 1(äussere Zone): Differenz zwischen den entsprechenden Werten für ganze Stadt und Kreis 1

¹⁰ Das TPM benötigt einen Anteil tagsüber, damit nicht wohnortbasierter Nutzverkehr berechnet werden kann.

¹¹ Das TPM läuft nur, falls ein Anteil nicht wohnortbasierter Nutzverkehr während der Morgenspitze stattfindet.

¹² Im Bericht sind die entsprechenden Daten nicht explizit datiert, aus dem Zusammenhang ist aber deren Gültigkeit für 1992 anzunehmen.

- Nutzverkehr:

Quell-, Ziel- und Binnenverkehr bezüglich ganze Stadt (innere und äussere Zone) nach Tiefbauamt des Kantons Zürich, Jenni+Gottardi AG (1994), Tab. 7.3 Wege pro durchschnittlicher Werktag, S. 63 (Werte für 1992):

- Aufteilung Quellverkehr in den restlichen Kanton Zürich (externe Zone) auf Kreis 1 (innere Zone) und restl. Stadt (äussere Zone) aufgrund Verteilung Arbeitsstätten total (Werte für 1990 (Sektor 1) und 1991 (Sektoren 2 und 3)) gem. Statistisches Amt der Stadt Zürich (1993)
- Aufteilung Zielverkehr aus dem restlichen Kanton Zürich (externe Zone) auf Kreis 1 (innere Zone) und restl. Stadt (äussere Zone) aufgrund Verteilung Arbeitsstätten total (Werte für 1990 (Sektor 1) und 1991 (Sektoren 2 und 3)) gem. Statistisches Amt der Stadt Zürich (1993)
- Aufteilung Binnenverkehr auf Kreis 1 (innere Zone) und restl. Stadt (äussere Zone) aufgrund Verteilung Arbeitsstätten total (Werte für 1990 (Sektor 1) und 1991 (Sektoren 2 und 3)) gem. Statistisches Amt der Stadt Zürich (1993)

- Einkaufsverkehr:

Quell-, Ziel- und Binnenverkehr bezüglich ganze Stadt (innere und äussere Zone) Tiefbauamt des Kantons Zürich und Jenni+Gottardi AG (1994), Tab. 7.4 Wege pro durchschnittlicher Werktag, S. 63 (Werte für 1992):

- Aufteilung Quellverkehr in den restlichen Kanton Zürich (externe Zone) auf Kreis 1 (innere Zone) und restl. Stadt (äussere Zone) aufgrund Verteilung Bevölkerung (Werte 1990) gem. Statistisches Amt der Stadt Zürich (1993)
- Aufteilung Zielverkehr aus dem restlichen Kanton Zürich (externe Zone) auf Kreis 1 (innere Zone) und restl. Stadt (äussere Zone) aufgrund Verteilung Arbeitsstätten Einzel-/Detailhandel (Werte 1991) gem. Statistisches Amt der Stadt Zürich (1993)
- Aufteilung Binnenverkehr auf Kreis 1 (innere Zone) und restl. Stadt (äussere Zone) aufgrund Verteilung Bevölkerung und Arbeitsstätten Einzel-/Detailhandel (Werte 1991) gem. Statistisches Amt der Stadt Zürich (1993)

- Freizeitverkehr:

Quell-, Ziel- und Binnenverkehr bezüglich ganze Stadt (innere und äussere Zone) Tiefbauamt des Kantons Zürich und Jenni+Gottardi AG (1994), Tab. 7.5 Wege pro durchschnittlicher Werktag, S. 63 (Werte für 1992):

- Aufteilung Quellverkehr in den restlichen Kanton Zürich (externe Zone) auf Kreis 1 (innere Zone) und restl. Stadt (äussere Zone) aufgrund Verteilung Bevölkerung (Werte 1990) gem. Statistisches Amt der Stadt Zürich (1993)

- Aufteilung Zielverkehr aus dem restlichen Kanton Zürich (externe Zone) auf Kreis 1 (innere Zone) und restl. Stadt (äussere Zone) aufgrund Verteilung Arbeitsstätten Gastgewerbe (Werte 1991) gem. Statistisches Amt der Stadt Zürich (1993)
- Aufteilung Binnenverkehr auf Kreis 1 (innere Zone) und restl. Stadt (äussere Zone) aufgrund Verteilung Bevölkerung und Verteilung Arbeitsstätten Gastgewerbe (Werte 1991) gem. Statistisches Amt der Stadt Zürich (1993)

Die Verteilung der Wege auf die Verkehrsmittel erfolgte anhand nachstehender Daten und Annahmen:

- Modal-Splits (PW¹³, öV total, Velo, zu Fuss) gem. Tiefbauamt des Kantons Zürich und Jenni+Gottardi AG (1994), Tab. 7.7, S. 74
- Aufteilung des öV-Anteils gem. Verkehrsmodell Kanton Zürich zu 2/3 auf Bus und zu 1/3 auf Zug

Die Wege wurden anhand der Beziehungen (5) und (6) auf die einzelnen PW-Besitzkategorien der Haushalte verteilt, wobei angenommen wurde, dass Wege per PW nur von Haushalten mit PW-Besitz zurückgelegt werden:

- Wege mit PW:

$$W_{odpPWc1 \text{ resp. } c2} = W_{odpPW} \cdot \frac{H_{c1 \text{ resp. } c2}}{(H_{c1} + H_{c2})} \quad (5)$$

mit

$W_{odpPWc1 \text{ resp. } c2}$ = Wege total zwischen Quelle o und Ziel d für Zweck p mit Verkehrsmittel PW der Haushalte der PW-Besitzkategorie $c1$ (1 PW) resp. $c2$ (2 oder mehr PW),

W_{odpPWc} = Wege total zwischen Quelle o und Ziel d für Zweck p mit Verkehrsmittel PW ,

$H_{c1 \text{ resp. } c2}$ = Anteil Haushalte der PW-Besitzkategorien $c1$ (1 PW) resp. $c2$ (2 oder mehr PW) an der Anzahl Haushalte insgesamt.

¹³ Die erwähnte Quelle nennt Modal-Split-Anteile für den motorisierten Individualverkehr. Sie wurden hier für PW verwendet.

- restliche Wege:

$$W_{odpmc} = W_{odpm} \cdot H_c \quad (6)$$

mit

W_{odpmc} = Wege total zwischen Quelle o und Ziel d für Zweck p mit Verkehrsmittel m der Haushalte der PW-Besitzkategorie c ,

W_{odpm} = Wege total zwischen Quelle o und Ziel d für Zweck p mit Verkehrsmittel m ,

H_c = Anteil Haushalte der PW-Besitzkategorie c an der Anzahl Haushalte insgesamt.

Da für die beiden Zeiträume die durchschnittliche Anzahl Wege je Stunde zu implementieren ist und die im TPM modellierte Morgenspitze von 7.00 - 10.00 Uhr, der Zeitraum tagsüber von 10.00 bis 16.00 Uhr dauert, sind die entsprechenden Werte abschliessend durch 3 respektive durch 6 zu dividieren.

Die Elastizitäten-Matrix TargElast.DAT hält die Elastizitäten je Zweck, PW-Besitzkategorie und Verkehrsmittel fest. Für die Fallstudie Region Zürich wurden diese wie folgt bestimmt:

Die Elastizitäten für den Verkehrszweck wohnortbasierter Pendelverkehr zur Arbeit und die PW-Besitzkategorie Haushalte mit 1 PW wurden für die Verkehrsmittel PW und Bus als -0.25 und -0.02 angenommen. Ersterer der Werte entspricht dem Mittel der empfohlenen Elastizitäten für ÖV-Stadtverkehr nach ÖV-Preis, letzterer dem Mittel der empfohlenen Elastizitäten für MIV-Stadt und MIV-Fern nach PW-Kosten gemäss Vrtic et al. (2000). Für die Ermittlung der restlichen Elastizitäten wurde angenommen, dass ihre Verhältnisse untereinander analog zu denjenigen der Default-Werte gemäss TPM seien. So konnten sie basierend auf den oben festgehaltenen zwei Elastizitäten getrennt nach IV und öV errechnet werden.

4.2 Sensitivitätstest

Aufgrund der unvollständigen Datenlage, die viele Annahmen erforderlich macht, kommt dem Sensitivitätstest (Analyse der Reaktion der Modell-Resultate auf Veränderungen der Eingabedaten) besondere Bedeutung zu. Dabei kann gesagt werden, dass das Modell in seiner Aussagekraft über die Stadt Zürich und Region insbesondere davon abhängt, wie sensitiv beziehungsweise insensitiv es hinsichtlich Veränderung jener Daten reagiert, über deren Genauigkeit eine grosse Unsicherheit besteht. Sensitives Verhalten ist dann zu verzeichnen, wenn die Veränderungen der Modell-Resultate im Vergleich zu den Veränderungen der Eingabegrössen von gleicher oder gar grösser Grössenordnung sind. Beim TPM ergibt sich im

Vergleich zu anderen Verkehrsmodellen dabei eine zusätzliche Schwierigkeit, da TPM nicht einen prognostizierten Zustand anzeigt, sondern die Differenzen zwischen diesem und dem Basiszustand. Eine Veränderung der Eingabedaten alleine, das heisst ohne jegliche Massnahme, führt noch nicht zu veränderten Modell-Resultaten. Erst im Einfluss von Massnahmen wird der Einfluss einer Veränderung der Eingabedaten sichtbar. Des weiteren gilt es zu beachten, dass nicht der Einfluss veränderter Eingabedaten auf die Veränderungen infolge von Massnahmen, sondern auf den prognostizierten Zustand für die Beurteilung der Sensitivitäten massgebend ist. Somit ist es erforderlich, aufgrund der Veränderung auf den Prognosezustand zu schliessen. Daraus ergibt sich folgende Beziehung für die Ermittlung der Sensitivität S:

$$S = \frac{(100\% + a) - (100\% + b)}{(100\% + a) \cdot 0.1} = \frac{a - b}{(100\% + a) \cdot 0.1}, \quad (7)$$

mit

a = Veränderung infolge einer Massnahme bei unverändertem Basiszustand,

b = Veränderung infolge einer Massnahme bei verändertem Basiszustand.

Die Reaktion des Modells auf Veränderung der Eingabegrössen ist aufgrund der errechneten Werte für S wie folgt zu interpretieren:

$S = 0$: insensitive Reaktion

$0 < S < 1$: schwach bis stark sensitive Reaktion

$S \geq 1$: stark sensitive Reaktion

Auf Veränderung der Eingabegrössen Arbeitslosenquote, Bevölkerungszahl und Haushaltsgrösse, PW pro Einwohner, Anteil der älteren Bevölkerung an den Haushalten ohne PW, Anteil der älteren Bevölkerung, Anteil der Kinder über fünf Jahren (5-15 Jahre) und Benzinpreis reagiert das Modell insensitiv. Die weiteren Ergebnisse sind Tabelle 10 zu entnehmen. Wie diese Zusammenstellung zeigt, reagiert das Modell in keinem der Fälle stark sensitiv. Einzig betreffend die Wartezeiten im öV kann von einer mittelstarken Sensitivität gesprochen werden. Ansonsten sind die Sensitivitäten als schwach bis nahezu insensitiv einzuschätzen. Die Modellgüte kann demzufolge grundsätzlich als gut bezeichnet werden, allerdings unter dem Vorbehalt der Tatsache, dass insbesondere betreffend die Wegematrix Alltrips.dat auf einen Sensitivitätstest verzichtet wurde. Deren Sensitivität erscheint allzu offensichtlich, beruhen doch viel Werte und Verteilungen wie beispielsweise diejenige zwischen Bahn und Bus auf reinen Annahmen. Es ist davon auszugehen, dass Veränderungen in der Wegematrix unweigerlich zu entsprechend stark veränderten Modellresultaten führen, stellt die Wegematrix

doch die eigentliche Basis aller Modellberechnungen dar. Selbst wenn eine veränderte Wegematrix nur kleinen Einfluss auf die Modellresultate als die Veränderungen zwischen Basis- und Prognosezustand infolge entsprechender Massnahmen hätte, bliebe eine Veränderung der Absolutwerte der Basis- und Prognosezustände. Die Genauigkeit der Modellresultate ist somit ganz entsprechend jener der Wegematrix als ungewiss zu interpretieren. Sie könnte natürlich durch die Bereitstellung einer vergleichsweise besseren Datengrundlage gesteigert werden, was allerdings mit Mehraufwand verbunden wäre. Betreffend die Elastizitätenmatrix wurde ebenso auf einen Sensitivitätstest verzichtet. Die Gründe hierfür sind analog zu denjenigen betreffend die Wegematrix zu sehen. Nicht untersucht wurden auch die Sensitivitäten des Modells hinsichtlich der Eingabegrössen Basisjahr und Radien innere und äussere Zone.

Tabelle 10 Resultate Sensitivitätstest

Eingabegrössen, + 10% im Vergleich zum Default	Massnahme	Sensitivität S gemäss Gleichung (7)	Ausgabe- grösse ¹⁴ mit grösster Veränderung	Unsicherheit der entsprechenden Eingabedaten
Anzahl Parkplätze	Parkplatzangebot + 10%	0.0331	zu Fuss, innere Zone	klein
Mittlere Parkgebühren	Parkgebühren + 10%	0.00402	PW, innere Zone	mittel
Zeitwerte Bus	Servicelevel Bus + 10%	0.134	Bus, innere Zone	gross
Grundtaxe resp. Minimalbillett- preis öV	Servicelevel Zug + 10%	0.0438	Zug, äussere Zone	mittel
Wartezeiten öV	Servicelevel Zug + 10%	0.628	Zug, äussere Zone	mittel
Prozentuale Belegung der Parkplätze ¹⁵	Parkplatzangebot + 10%	0.0176	zu Fuss, innere Zone	mittel
Anzahl kostenpflichtiger Parkhäuser	Parkplatzangebot + 10%	0.126	zu Fuss, innere Zone	klein
Besetzungsgrade öV und PW, öV-Kapazität	Busbillettpreise + 10%	0.00724	Bus, innere Zone	gross (öV) und mittel (PW), mittel (öV)
Zeitwerte PW	Strassengebühr Zentrumszufahrt Morgenspitze + 10 Pence	0.00100	PW, innere Zone	gross
Zugangszeiten Verkehrsmittel	Servicelevel Bus + 10%	0.0416	Bus, innere Zone	gross
Redistributions- parameter	Busbillettpreise + 10%	0.00103	Bus, innere Zone	mittel

¹⁴ Personenkilometer aller Zwecke während der Morgenspitze.

¹⁵ Default: 95%, max. möglicher Wert im TPM 100% entspricht einer Erhöhung um ca. 5%.

4.3 Elastizitätentest

Durch Vergleich der Elastizitäten der Modellresultate mit Werten aus der Literatur (Erhebungen) lässt sich beurteilen, ob das Modell Veränderungen infolge der verschiedenen Massnahmen plausibel abbildet. Da bereits in den Eingabedaten Elastizitäten eingeflossen sind, ergibt sich damit quasi eine zweite Kontrolle. Allerdings sind nicht für alle theoretisch denkbaren Elastizitäten in der Literatur Vergleichswerte vorhanden, sodass sich der Test auf die entsprechenden Grössen beschränken muss. Vrtic et al. (2000) empfehlen die Elastizitäten gemäss Tabelle 11 für die Schweiz.

Tabelle 11 Empfohlene Elastizitäten

Elastizitäten	ÖV-Stadtverkehr	ÖV-Fernverkehr	MIV-Stadtverkehr	MIV-Fernverkehr
ÖV-Angebot	0.25/0.35	0.3/0.45		
ÖV-Preis	-0.2/-0.3	-0.25/-0.4		
PW-Kosten			-0.01	-0.03

Quelle: Vrtic et al. (2000) 65

Da das TPM Veränderungen in Bezug zum Basiszustand aufgrund von Massnahmen, die mehrheitlich als prozentuale Veränderungen entsprechender Parameter im Vergleich zum Basiszustand einzugeben sind, prozentual ermittelt, können die entsprechenden Elastizitäten als Quotienten der einzelnen Werte bestimmt werden. Im Falle des Benzinpreises gestaltet sich die Herleitung der Elastizität etwas anders, da der Benzinpreis in der TPM-Version 1.3a nicht Massnahme (bei den Versionen bis 1.2 war der Benzinpreis eine Massnahme), sondern Szenarioparameter ist. Durch Definition des entsprechenden Szenarios (entsprechend erhöhter Benzinpreis im Vergleich zum Basiszustand) kann die Elastizität aber genauso ermittelt werden. Die Elastizitäten des Modells, alle ermittelt für die Morgenspitze, und der Literaturwerte sind in Tabelle 12 einander gegenüber gestellt. Dabei zeigt sich, dass die öV-Preis-Elastizitäten des Modells hinsichtlich Betrag leicht zu gross sind im Vergleich zu den Literaturwerten für Stadtverkehr. Dies bedeutet, dass die Zunahme der öV-Nachfrage infolge Preisreduktionen durch das Modell tendenziell leicht überschätzt wird. Die Modellelastizität für den Servicelevel Bus liegt stark, diejenige für den Servicelevel Zug leicht über den genannten Literaturwerten. Die Elastizitäten für Parkgebühren sind um einen Faktor 4 zu gross, diejenigen für Strassengebühren um einen Faktor 10 zu klein im Vergleich zu den Literaturwerten. Dafür entspricht die Modellelastizität für den Benzinpreis dem Literaturwert.

Tabelle 12 Vergleich der Elastizitäten

Massnahme	Elastizität ¹⁶	Vergleichswert nach Vrtic et al. (2000)
Buspreise + 50%	-0.32 Bus, innere Zone	-0.2/-0.3
Zugpreise + 50%	-0.39 Zug, äussere Zone	-0.2/-0.3
Servicelevel Bus + 50%	0.73 Bus, innere Zone	0.25/0.35
Servicelevel Zug + 50%	0.40 Zug, äussere Zone	0.25/0.35
Parkgebühren + 50%	-0.042 PW, innere Zone	-0.01
Strassengebühr Zentrumszufahrt Morgenspitze + 10 /15 Pence	-0.00100 PW, innere Zone	-0.01
Benzinpreisfaktor 1.5 (entspricht 150% vom Benzinpreis im Basisjahr)	-0.0102 PW, innere Zone	-0.01

Quelle: Vrtic et al. (2000) 65

4.4 Test des Einflusses der Szenarioparameter

Die einzelnen Szenarioparameter sind in Abschnitt 3.2.1 beschrieben. Um deren Einfluss auf einen prognostizierten Zustand und mithin diesen zu erkennen und zu verstehen, ist eine vorherige Analyse des Einflusses der Szenarioparameter einzeln auf das Modellresultat angebracht. Dazu wurden je Szenarioparameter der Einfluss einer Erhöhung von 10% im Vergleich zum Basiszustand ermittelt. Der Test beschränkt sich allerdings auf die zonenbezogenen Ausgabegrössen in Personenkilometern für beide Tageszeiten und alle Verkehrszwecke total. Dies mag jedoch für eine Beurteilung vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Entwicklung genügen, da die Verkehrsleistung insgesamt und je Verkehrsmittel ein wesentlicher Nachhaltigkeitsindikator ist. Die Szenarioparameterwerte sind in Tabelle 13 aufgelistet, die

¹⁶ Errechnet als das Verhältnis der Veränderung der Ausgabegrösse (Personenkilometer aller Zwecke während der Morgenspitze) zur Veränderung des Massnahmeparameters.

entsprechenden Veränderungen der Personenkilometer infolge dieser Szenariowerte sind aus den Tabellen 14 und 15 ersichtlich.

Tabelle 13 Testwerte Szenarioparameter

TPM-Default-Werte 1.1

	Bevölkerung	Haushaltsgrösse	PW pro Einwohner	Arbeitsplatzzunahmerate relativ
innere Zone	7388.7	1.595	0.264	1.1
äussere Zone	394158.6	2.112	0.3377	1.1
externe Zone	895401.1	2.706	0.5412	1.1
Arbeitsplatzzunahmerate global	1.1	Arbeitslosenquote	0.4 (0.33 im TPM nicht eingebbar)	
Real-Einkommens-Index	1.1	Benzinpreis-Faktor	1.1	

Tabelle 14 Einfluss der veränderten Szenarioparameter auf die Morgenspitze

Veränderter Szenarioparameter	Veränderungen Pkm in %, alle Verkehrszwecke											
	Innere Zone						Äussere Zone					
	PW	Bus	Zug	Velo	zu Fuss	total	PW	Bus	Zug	Velo	zu Fuss	total
Bevölkerung												
innere Zone	0.32	1.34	0.44	0.64	0.36	0.49	0.02	0.07	0.04	0.06	0.06	0.04
äussere Zone	0.24	6.98	2.97	3.95	5.61	2.99	2.04	8.05	-0.61	4.25	4.2	3.18
externe Zone	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Haushaltsgrösse												
innere Zone	0.45	0.31	0.12	0.18	0.23	0.31	0.09	0.01	0.04	0.04	0.03	0.06
äussere Zone	0.19	-1.32	-0.30	-0.46	1.95	0.28	2.40	-1.56	-0.12	-0.60	-0.58	0.64
externe Zone	0.28	-0.79	1.32	1.14	4.08	1.28	2.84	-0.30	2.18	1.47	1.46	1.85
PW pro Einwohner												
innere Zone	0.13	-0.02	-0.01	-0.01	0.04	0.06	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
äussere Zone	-0.26	-3.73	-2.38	-2.79	-1.93	-1.60	0.26	-4.56	-1.23	-3.07	-3.05	-1.55
externe Zone	-4.23	1.34	-5.14	-4.52	-4.54	-3.90	-4.13	0.27	-7.32	-4.68	-4.71	-3.87
Arbeitsplatzzunahmerate relativ												
innere Zone	0.71	6.86	8.06	7.87	13.3	6.09	0.23	-0.17	0.63	1.00	1.48	0.37
äussere Zone	-7.28	-6.05	-7.69	-7.52	-8.33	-7.48	-0.18	0.18	-0.63	-0.97	-1.43	-0.35
externe Zone	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Arbeitsplatzzunahmerate global	0.51	-2.04	8.09	7.04	11.3	4.56	6.74	-0.67	12.1	7.75	7.77	6.33
Arbeitslosenrate	-0.01	-0.15	-0.02	-0.04	-0.04	-0.04	-0.02	-0.15	0.01	-0.05	-0.05	-0.05
Real-Einkommens-Index	-0.33	2.35	3.28	-2.22	-1.47	-0.07	-0.56	2.46	3.77	-2.15	-2.17	0.56
Bezinpreis-Faktor	-0.11	0.04	0.08	0.07	-0.02	-0.03	-0.16	0.06	0.13	0.09	0.09	-0.02

Tabelle 15 Einfluss der veränderten Szenarioparameter tagsüber

veränderter Szenarioparameter	Veränderungen Pkm in %, alle Verkehrszwecke											
	Innere Zone						Äussere Zone					
	PW	Bus	Zug	Velo	zu Fuss	total	PW	Bus	Zug	Velo	zu Fuss	total
Bevölkerung												
innere Zone	0.53	0.78	0.47	0.61	0.61	0.59	0.08	0.10	0.12	0.15	0.15	0.11
äussere Zone	0.19	8.29	5.08	7.71	11.7	6.48	5.00	8.98	3.92	7.41	6.48	5.95
externe Zone	0.00	0.02	3.50	1.33	4.73	2.01	2.65	-0.01	3.42	1.49	2.72	2.19
Haushaltsgrösse												
innere Zone	0.52	0.27	0.17	0.23	0.31	0.33	0.12	0.04	0.05	0.06	0.06	0.08
äussere Zone	0.16	0.49	0.33	0.59	3.11	1.15	3.39	0.13	0.26	0.44	0.44	1.68
externe Zone	0.23	-0.01	1.43	0.57	2.81	1.14	2.40	0.01	1.67	0.74	1.13	1.55
PW pro Einwohner												
innere Zone	0.15	0.03	0.02	0.03	0.06	0.07	0.04	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02
äussere Zone	0.40	-2.35	-1.53	-2.06	-1.83	-1.27	0.45	-3.01	-1.34	-2.19	-1.84	-0.97
externe Zone	-3.73	-0.04	-3.55	-1.45	-1.51	-2.18	-3.48	-0.11	-4.40	-1.95	-2.68	-2.79
Arbeitsplatzzunahmerate relativ												
innere Zone	0.57	0.96	1.49	0.78	1.51	1.03	0.11	-0.03	0.18	0.20	0.20	0.12
äussere Zone	-1.39	-0.92	-1.41	-0.75	-0.50	-0.95	-0.09	0.03	-0.17	-0.19	-0.20	-0.11
externe Zone	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Arbeitsplatzzunahmerate global	0.45	0.04	1.30	0.63	1.48	0.82	2.10	0.16	2.77	1.24	0.93	1.66
Arbeitslosenrate	-0.48	2.66	3.72	-1.20	-1.23	-0.01	-0.47	2.52	4.17	-1.29	-1.35	0.55
Real-Einkommens-Index	-0.01	-0.02	-0.01	-0.01	-0.00	-0.01	-0.01	-0.04	-0.00	-0.01	-0.01	-0.01
Bezinpreis-Faktor	-0.15	0.05	0.10	0.06	0.07	0.00	-0.16	0.05	0.13	0.07	0.09	-0.03

Aufgrund der Testresultate lässt sich folgendes zum Einfluss der Szenarioparameter auf ein prognostiziertes Verkehrsgeschehen festhalten:

- Eine Zunahme der Bevölkerung führt zu einer Zunahme der Personenkilometer hinsichtlich aller Verkehrsmittel, allerdings bleibt eine Veränderung der Bevölkerungszahl in der äusseren Zone ohne Effekt auf die Verkehrsleistung während der Morgenspitze.

- Eine Zunahme der Haushaltsgrösse hat generell zusätzliche Personenkilometer auf allen Verkehrsmitteln zur Folge, wobei beim PW das stärkste Wachstum zu verzeichnen ist. Der Einfluss der erhöhten Haushaltsgrösse in der externen Zone zeigt während beiden Tagezeiten einen verhältnismässig starken Zuwachs zum einen der PW-Personenkilometer in der äusseren Zone und zum anderen der Fussgänger-Personenkilometer in der inneren Zone. Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, dass das Parkierungsmodell so ausgerichtet ist, dass bei beschränktem Parkplatzangebot in der inneren Zone viele PW-Benützer aus der äusseren und externen Zone die innere schliesslich zu Fuss erreichen.
- Eine Zunahme des Autobesitzes in der inneren Zone hat nur Einfluss auf das Verkehrsgeschehen in selbiger, wobei die PW-Personenkilometer bei einer Zunahme an Personenkilometer insgesamt erwartungsgemäss am stärksten zunehmen. Erhöhter Autobesitz in der äusseren Zone bewirkt eine Abnahme der totalen Verkehrsleistung bei schwacher Abnahme (innere Zone während Morgenspitze) oder Zunahme der PW-Personenkilometer. Erhöhter Autobesitz in der externen Zone führt zu einer Abnahme der totalen Anzahl Personenkilometer in der inneren und äusseren Zone bei allerdings kleinem Einfluss auf die Personenkilometer per Bus.
- Eine Umverteilung der Arbeitsplätze mit erhöhter relativer Arbeitsplatzzunahmerate in der inneren Zone erzeugt total mehr Personenkilometer in beiden Zonen, wohingegen eine Zunahme der relativen Arbeitsplatzzunahmerate in der äusseren Zone zu einer Abnahme an Verkehrsleistung führt. Dabei ist auffällig, dass der Einfluss auf die Bus-Personenkilometer in der äusseren Zone in beiden Fällen, wenn auch nur schwach, im Vergleich zu den anderen Verkehrsmitteln, die alle zur totalen Ab- respektive Zunahme beitragen, gegenläufiger Natur ist. Eine veränderte relative Arbeitsplatzzunahmerate in der externen Zone bleibt ohne Einfluss auf die anderen zwei Zonen.
- Eine Erhöhung der Arbeitsplatzzunahmerate insgesamt führt während beiden Tageszeiten total zu mehr Verkehrsleistung. Während der Morgenspitze werden etwas weniger Personenkilometer per Bus zurückgelegt, wohingegen mit den übrigen und tagsüber mit allen Verkehrsmitteln mehr verkehrt wird.
- Eine Zunahme des Real-Einkommens-Indexes hat vor allem verlagernden Einfluss von den individuellen (inklusive Velo und zu Fuss) auf die öffentlichen Verkehrsmittel während der Morgenspitze bei kleiner Ab- respektive Zunahme der totalen Verkehrsleistung in der inneren respektive äusseren Zone. Der Einfluss auf das Verkehrsgeschehen tagsüber ist marginal.
- Eine erhöhte Arbeitslosenquote entlastet die Verkehrssituation während der Morgenspitze und insbesondere die Busse bei einer Verkehrszunahme tagsüber mit Verlagerung von den individuellen auf die öffentlichen Verkehrsmittel.
- Eine Erhöhung des Bezinpreisfaktors hat insgesamt eine Abnahme der Verkehrsleistung und erwartungsgemäss eine Verlagerung weg vom PW zur Folge.

Da sich allerdings die geschilderten Zusammenhänge zwischen Veränderung der Szenarioparameter und Ausgabegrößen explizit auf das Fallbeispiel Zürich und die dabei verwendete Datenbasis beziehen, sind sie nicht vorbehaltlos verallgemeinerbar und als grundsätzliche Mechanismen des Modells zu verstehen.

4.5 Prognosebeispiele

4.5.1 Szenarios

Auf dem Hintergrund veränderter Flächennutzung wurden zwei Szenarios definiert:

- Sub- und Desurbanisierung:

In diesem Szenario wandert die Bevölkerung vom Stadtzentrum in die restlichen Stadtgebiete und vor allem den restlichen Kanton Zürich ab, wohingegen sich die Arbeitsplätze vermehrt auf städtisches Gebiet konzentrieren. Insgesamt über alle drei Zonen gemittelt steigt die Anzahl Arbeitsplätze. Die mittlere Haushaltsgrösse sinkt in der Stadt, steigt aber im restlichen Kanton Zürich an, da vor allem Familien dorthin ziehen. Die Anzahl PW pro Einwohner sinkt im Stadtzentrum, steigt aber in den restlichen Gebieten. Der Real-Einkommens-Index wie auch der Benzinpreis-Faktor steigen im gesamten Untersuchungsgebiet.

- Reurbanisierung:

Dieses Szenario beruht auf der Annahme, die Bevölkerung konzentrierte sich wie auch die Arbeitsplätze vermehrt in der Stadt und insbesondere den äusseren Quartieren. Die Haushaltsgrösse steigt im Stadtgebiet, bleibt im restlichen Kanton Zürich konstant. Dort steigt die Anzahl Autos pro Einwohner, die im Stadtzentrum sinkt und in der restlichen Stadt unverändert bleibt. Hinsichtlich der Arbeitsplatzzunahme insgesamt, der Arbeitslosen, des Real-Einkommens-Indexes wie auch des Benzinpreis-Faktors gelten die gleichen Annahmen wie im Szenario Sub- und Desurbanisierung.

Um insbesondere den Einfluss erhöhter Benzinpreise analysieren zu können, wurden beide Szenarios je mit den Benzinpreis-Faktoren 1.1 und 1.5 angewandt.

Die expliziten Proportionen und Werte sind den Tabellen 16 und 17 zu entnehmen.

Tabelle 16 Werte Szenarioparameter Szenario Sub- und Desurbanisierung

Verhältnisse der Szenarioparameter zu den Eingabegrössen des Basiszustands

	Bevölkerung	Haushaltsgrösse	PW pro Einwohner	Arbeitsplatzzunahmerate relativ
innere Zone	0.9	0.9	0.9	1.1
äussere Zone	Wert äussere Zone + 0.1·Wert innere Zone	0.9	1.1	1.2
externe Zone	Wert externe Zone + 0.2·Wert innere Zone	1.1	1.1	0.8
Arbeitsplatzzunahmerate global	1.1	Arbeitslosenquote		0.9
Real-Einkommens-Index	1.1	Benzinpreis-Faktor		1.1 bzw. 1.5

Werte Szenarioparameter

	Bevölkerung	Haushaltsgrösse	PW pro Einwohner	Arbeitsplatzzunahmerate relativ
innere Zone	6'045.3	1.305	0.216	1.1
äussere Zone	3'58997.7	1.728	0.3377	1.2
externe Zone	8'15344.4	2.706	0.5412	0.8
Arbeitsplatzzunahmerate global	1.1	Arbeitslosenquote		0.3
Real-Einkommens-Index	1.1	Benzinpreis-Faktor		1.1 bzw. 1.5

Tabelle 17 Werte Szenarioparameter Szenario Reurbanisierung

Verhältnisse der Szenarioparameter zu den Eingabegrössen des Basiszustands

	Bevölkerung	Haushaltsgrösse	PW pro Einwohner	Arbeitsplatzzunahmerate relativ
innere Zone	1.1	1.1	0.9	1.1
äussere Zone	Wert äussere Zone + 0.2·Wert innere Zone	1.1	1	1.2
externe Zone	Wert externe Zone - 0.2·Wert innere Zone	1	1.1	0.8
Arbeitsplatzzunahmerate global	1.1	Arbeitslosenquote		0.9
Real-Einkommens-Index	1.1	Benzinpreis-Faktor		1.1 bzw. 1.5

Werte Szenarioparameter

	Bevölkerung	Haushaltsgrösse	PW pro Einwohner	Arbeitsplatzzunahmerate relativ
innere Zone	7388.7	1.595	0.216	1.1
äussere Zone	359669.4	2.112	0.307	1.2
externe Zone	812657.6	2.46	0.5412	0.8
Arbeitsplatzzunahmerate global	1.1	Arbeitslosenquote		0.3
Real-Einkommens-Index	1.1	Benzinpreis-Faktor		1.1 bzw. 1.5

4.5.2 Resultate

Tabellen 18 bis 25 zeigen die Resultate der Prognosen für die zwei Szenarios und Benzinpreis-Faktoren, beschränkt – wie schon beim Test des Einflusses der Szenarioparameter – auf die zonenbezogenen Ausgabegrössen in Personenkilometern für beide Tageszeiten und alle Verkehrszwecke total.

Tabelle 18 Szenario Sub- und Desurbanisierung, Benzinpreisfaktor 1.1, Morgenspitze

Massnahme	Veränderungen Pkm in %, alle Verkehrszwecke												
	Innere Zone						Äussere Zone						
	PW	Bus	Zug	Velo	zu Fuss	total	PW	Bus	Zug	Velo	zu Fuss	total	
ohne Massnahme		-5.65	-6.83	-2.05	-7.79	-7.26	-5.92	1.29	1.46	8.38	-0.50	-0.96	2.25
Busbillett- preise	-10%	-5.72	-3.84	-2.59	-8.40	-7.73	-5.91	1.04	4.15	8.07	-1.56	-2.03	2.46
	-50%	-6.08	8.93	-4.82	-11.0	-9.66	-5.84	-0.01	15.2	6.71	-5.89	-6.37	3.32
Zugbillett- preise	-10%	-6.38	-7.38	1.91	-9.07	-8.39	-6.16	0.79	1.32	12.9	-1.54	-2.01	2.61
	-50%	-9.50	-9.70	17.7	-14.4	-13.1	-7.26	-1.43	0.44	33.1	-6.02	-6.53	4.24
Servicelevel Bus	+10%	-5.74	0.94	-3.45	-9.44	-8.46	-5.85	0.53	9.55	7.45	-3.68	-4.15	2.89
	+50%	-6.31	27.5	-8.03	-14.8	-12.5	-5.63	-2.19	35.2	4.07	-13.4	-13.8	4.76
Servicelevel Zug	+10%	-6.47	-7.26	2.34	-9.23	-8.52	-6.17	0.64	1.38	13.7	-1.76	-2.23	2.67
	+50%	-8.92	-8.43	15.0	-13.4	-12.2	-6.92	-1.30	1.11	29.4	-5.40	-5.89	3.90
Park- gebühren	+10%	-6.02	-6.68	-1.88	-7.63	-7.41	-6.04	1.26	1.47	8.41	-0.46	-0.92	2.25
	+50%	-7.41	-6.08	-1.21	-7.02	-7.95	-6.50	1.13	1.52	8.53	-0.33	-0.74	2.24
Parkplatz- angebot	-10%	-9.05	-6.47	-1.90	-7.66	-0.79	-5.78	1.26	1.48	8.40	-0.47	-0.92	2.25
	-50%	-40.2	-4.93	-1.58	-7.40	33.6	-10.5	1.18	1.58	8.46	-0.40	-0.83	2.26
Strassenge- bühr Zent- rumszufahrt Morgen- spitze	+10 Pence	-6.00	-6.69	-1.88	-7.64	-7.40	-6.04	1.26	1.47	8.41	-0.46	-0.92	2.25
	+50 Pence	-7.35	-6.14	-1.23	-7.06	-7.91	-6.48	1.12	1.52	8.53	-0.33	-0.75	2.24
Strassenge- bühr Zent- rumszufahrt tagsüber	+10 Pence	-5.64	-6.82	-2.04	-7.77	-7.25	-5.91	1.29	1.46	8.38	-0.49	-0.96	2.25
	+50 Pence	-5.64	-6.82	-2.04	-7.77	-7.25	-5.91	1.29	1.46	8.38	-0.49	-0.96	2.25

Tabelle 19 Szenario Sub- und Desurbanisierung, Benzinpreisfaktor 1.1, tagsüber

Massnahme	Veränderungen Pkm in %, alle Verkehrszwecke												
	Innere Zone						Äussere Zone						
	PW	Bus	Zug	Velo	zu Fuss	total	PW	Bus	Zug	Velo	zu Fuss	total	
ohne Massnahme													
Busbillett- preise	-10%	-6.59	2.16	-1.01	-5.36	-5.31	-4.34	-4.29	3.60	2.20	-4.09	-4.54	-1.98
	-50%	-7.26	16.8	-3.01	-7.89	-7.90	-4.31	-5.12	16.3	0.73	-6.96	-7.07	-1.15
Zugbillett- preise	-10%	-6.88	-1.57	3.76	-5.38	-5.34	-4.34	-4.53	0.41	7.29	-4.03	-4.68	-1.82
	-50%	-8.86	-3.94	24.0	-8.15	-8.22	-4.34	-6.45	-1.32	30.4	-6.91	-8.06	-0.05
Servicelevel Bus	+10%	-6.66	3.41	-1.31	-5.62	-5.57	-4.37	-4.49	6.03	1.92	-4.66	-5.01	-1.84
	+50%	-7.43	18.4	-3.83	-8.42	-8.39	-4.50	-5.85	23.4	-0.23	-8.58	-8.36	-0.81
Servicelevel Zug	+10%	-6.77	-1.34	2.35	-5.17	-5.10	-4.33	-4.45	0.56	5.83	-3.87	-4.46	-1.94
	+50%	-7.73	-2.08	10.7	-6.25	-6.16	-4.29	-5.47	0.10	15.5	-5.13	-5.89	-1.27
Park- gebühren	+10%	-6.43	-1.06	-0.54	-4.78	-4.72	-4.33	-4.10	0.71	2.51	-3.42	-3.96	-2.18
	+50%	-6.37	-1.03	-0.49	-4.76	-4.70	-4.29	-4.10	0.70	2.51	-3.42	-3.95	-2.17
Parkplatz- angebot	-10%	-10.4	-0.99	-0.44	-4.72	-1.09	-4.40	-4.16	0.73	2.55	-3.39	-3.92	-2.19
	-50%	-46.2	-0.31	0.46	-4.21	31.7	-4.92	-4.68	0.91	2.91	-3.14	-3.58	-2.26
Strassenge- bühr Zent- rumszufahrt	+10 Pence	-6.43	-1.07	-0.54	-4.78	-4.72	-4.33	-4.10	0.71	2.51	-3.42	-3.96	-2.18
	+50 Pence	-6.37	-1.03	-0.49	-4.76	-4.70	-4.29	-4.10	0.70	2.51	-3.42	-3.95	-2.17
Morgen- spitze													
Strassenge- bühr Zent- rumszufahrt	+10 Pence	-7.27	-0.94	-0.36	-4.67	-4.58	-4.47	-4.23	0.75	2.59	-3.36	-3.88	-2.20
	+50 Pence	-7.27	-0.94	-0.36	-4.76	-4.58	-4.47	-4.23	0.75	2.59	-3.36	-3.88	-2.20
tagsüber													

Tabelle 20 Szenario Sub- und Desurbanisierung, Benzinpreisfaktor 1.5, Morgenspitze

Massnahme	Veränderungen Pkm in %, alle Verkehrszwecke												
	Innere Zone						Äussere Zone						
	PW	Bus	Zug	Velo	zu Fuss	total	PW	Bus	Zug	Velo	zu Fuss	total	
ohne Massnahme													
Busbillett- preise	-10%	-6.07	-3.65	-2.32	-8.17	-7.80	-5.98	0.51	4.36	8.53	-1.27	-1.75	2.39
	-50%	-6.43	9.13	-4.55	-10.7	-9.74	-5.91	-0.54	15.4	7.17	-5.60	-6.10	3.25
Zugbillett- preise	-10%	-6.73	-7.19	2.18	-8.84	-8.46	-6.23	0.25	1.53	13.3	-1.25	-1.73	2.54
	-50%	-9.84	-9.52	17.9	-14.1	-13.2	-7.34	-1.97	0.65	33.6	-5.74	-6.25	4.18
Servicelevel Bus	+10%	-6.09	1.14	-3.18	-9.21	-8.53	-5.92	-0.01	9.77	7.91	-3.39	-3.87	2.82
	+50%	-6.66	27.7	-7.75	-14.6	-12.5	-5.70	-2.73	35.4	4.53	-13.1	-13.5	4.69
Servicelevel Zug	+10%	-6.82	-7.07	2.62	-9.00	-8.59	-6.24	0.10	1.60	14.2	-1.48	-1.95	2.61
	+50%	-9.27	-8.25	15.3	-13.1	-12.2	-6.99	-1.84	1.32	30.0	-5.12	-5.62	3.84
Park- gebühren	+10%	-6.36	-6.49	-1.61	-7.40	-7.48	-6.11	0.72	1.68	8.87	-0.17	-0.63	2.18
	+50%	-7.72	-5.90	-0.96	-6.80	-8.01	-6.56	0.59	1.73	8.99	-0.04	-0.46	2.18
Parkplatz- angebot	-10%	-9.10	-6.30	-1.63	-7.42	-1.04	-5.77	0.72	1.69	8.87	-0.17	-0.64	2.18
	-50%	-40.2	-4.77	-1.33	-7.18	33.3	-10.5	0.64	1.79	8.92	-0.11	-0.55	2.19
Strassenge- bühr Zent- rumszufahrt	+10 Pence	-6.35	-6.50	-1.62	-7.40	-7.47	-6.11	0.72	1.68	8.87	-0.17	-0.64	2.18
Morgen- spitze	+50 Pence	-7.67	-5.96	-0.98	-6.84	-7.97	-6.55	0.59	1.73	8.99	-0.05	-0.47	2.17
Strassenge- bühr Zent- rumszufahrt	+10 Pence	-5.99	-6.63	-1.77	-7.54	-7.32	-5.98	0.76	1.67	8.84	-0.20	-0.68	2.18
tagsüber	+50 Pence	-5.94	-6.59	-1.71	-7.49	-7.27	-5.93	0.76	1.67	8.84	-0.20	-0.67	2.18

Tabelle 21 Szenario Sub- und Desurbanisierung, Benzinpreisfaktor 1.5, tagsüber

Massnahme	Veränderungen Pkm in %, alle Verkehrszwecke												
	Innere Zone						Äussere Zone						
	PW	Bus	Zug	Velo	zu Fuss	total	PW	Bus	Zug	Velo	zu Fuss	total	
ohne Massnahme		-6.95	-0.90	-0.21	-4.60	-4.51	-4.32	-4.64	0.87	2.95	-3.20	-3.67	-2.26
Busbillett- preise	-10%	-7.10	2.33	-0.67	-5.17	-5.10	-4.33	-4.83	3.77	2.64	-3.86	-4.26	-2.07
	-50%	-7.77	17.0	-2.67	-7.70	-7.69	-4.29	-5.66	16.4	1.17	-6.74	-6.79	-1.24
Zugbillett- preise	-10%	-7.38	-1.40	4.12	-5.19	-5.13	-4.33	-5.07	0.57	7.74	-3.81	-4.40	-1.90
	-50%	-9.36	-3.77	24.4	-7.97	-8.02	-4.32	-6.98	-1.16	30.9	-6.70	-7.79	-0.12
Servicelevel Bus	+10%	-7.16	3.58	-0.97	-5.43	-5.35	-4.36	-5.03	6.21	2.36	-4.43	-4.73	-1.93
	+50%	-7.94	18.6	-3.49	-8.23	-8.18	-4.49	-6.38	23.6	0.21	-8.36	-8.08	-0.89
Servicelevel Zug	+10%	-7.28	-1.17	2.71	-4.98	-4.89	-4.31	-4.99	0.72	6.28	-3.64	-4.17	-2.03
	+50%	-8.24	-1.91	11.0	-6.06	-5.95	-4.28	-6.01	0.26	15.9	-4.91	-5.61	-1.36
Park- gebühren	+10%	-6.93	-0.90	-0.20	-4.59	-4.51	-4.32	-4.64	0.87	2.95	-3.19	-3.67	-2.26
	+50%	-6.88	-0.86	-0.14	-4.57	-4.49	-4.28	-4.64	0.87	2.95	-3.19	-3.67	-2.26
Parkplatz- angebot	-10%	-10.5	-0.83	-0.11	-4.54	-1.28	-4.37	-4.70	0.89	2.98	-3.17	-3.64	-2.27
	-50%	-46.2	-0.16	0.77	-4.04	31.6	-4.87	-5.19	1.07	3.34	-2.92	-3.31	-2.34
Strassenge- bühr Zent- rumszufahrt	+10 Pence	-6.93	-0.90	-0.20	-4.59	-4.51	-4.32	-4.64	0.87	2.95	-3.19	-3.67	-2.26
	+50 Pence	-6.88	-0.87	-0.15	-4.57	-4.49	-4.28	-4.64	0.87	2.95	-3.19	-3.67	-2.26
Strassenge- bühr Zent- rumszufahrt tagsüber	+10 Pence	-7.75	-0.77	-0.01	-4.48	-4.37	-4.45	-4.77	0.92	3.02	-3.14	-3.59	-2.28
	+50 Pence	-10.6	-0.26	0.72	-4.03	-3.85	-4.89	-5.23	1.07	3.32	-2.92	-3.29	-2.36

Tabelle 22 Szenario Reurbanisierung, Benzinpreisfaktor 1.1, Morgenspitze

Massnahme	Veränderungen Pkm in %, alle Verkehrszwecke												
	Innere Zone						Äussere Zone						
	PW	Bus	Zug	Velo	zu Fuss	total	PW	Bus	Zug	Velo	zu Fuss	total	
ohne Massnahme		-2.28	-3.49	-1.29	-6.44	-5.37	-3.51	3.99	1.20	6.72	-1.06	-1.50	3.03
Busbillett- preise	-10%	-2.39	-0.51	-1.80	-7.04	-5.84	-3.50	3.71	3.82	6.43	-2.05	-2.49	3.23
	-50%	-2.90	12.3	-3.95	-9.52	-7.79	-3.48	2.49	14.6	5.14	-6.07	-6.52	4.02
Zugbillett- preise	-10%	-3.00	-4.01	2.66	-7.74	-6.49	-3.74	3.50	1.08	11.1	-2.10	-2.55	3.39
	-50%	-5.99	-6.18	18.3	-13.0	-11.1	-4.77	1.37	0.29	30.8	-6.54	-7.02	4.99
Servicelevel Bus	+10%	-2.49	4.33	-2.64	-8.05	-6.59	-3.47	3.11	9.06	5.85	-4.01	-4.45	3.62
	+50%	-3.48	31.1	-7.08	-13.3	-10.7	-3.38	-0.04	34.2	2.65	-13.1	-13.5	5.33
Servicelevel Zug	+10%	-3.07	-3.89	3.07	-7.90	-6.62	-3.75	3.37	1.14	12.0	-2.33	-2.77	3.45
	+50%	-5.42	-4.98	15.7	-12.1	-10.2	-4.45	1.52	0.90	27.4	-5.97	-6.44	4.67
Park- gebühren	+10%	-2.65	-3.33	-1.12	-6.29	-5.53	-3.64	3.95	1.21	6.76	-1.02	-1.45	3.03
	+50%	-4.08	-2.66	-0.46	-5.67	-6.08	-4.10	3.82	1.27	6.88	-0.89	-1.28	3.03
Parkplatz- angebot	-10%	-7.31	-3.02	-1.20	-6.37	2.09	-3.81	3.96	1.23	6.74	-1.03	-1.47	3.03
	-50%	-38.4	-1.43	-0.92	-6.15	36.5	-8.54	3.89	1.33	6.79	-0.98	-1.38	3.04
Strassenge- bühr Zent- rumszufahrt	+10												
	Pence	-2.64	-3.35	-1.13	-6.30	-5.51	-3.63	3.95	1.21	6.75	-1.02	-1.46	3.03
	+50												
	Pence	-4.00	-2.75	-0.49	-5.73	-6.04	-4.08	3.82	1.27	6.87	-0.90	-1.29	3.02
Morgen- spitze													
Strassenge- bühr Zent- rumszufahrt	+10												
	Pence	-2.26	-3.48	-1.27	-6.43	-5.36	-3.49	3.99	1.20	6.72	-1.06	-1.50	3.03
	+50												
	Pence	-2.21	-3.44	-1.22	-6.38	-5.30	-3.44	3.99	1.20	6.73	-1.05	-1.49	3.04
tagsüber													

Tabelle 23 Szenario Reurbanisierung, Benzinpreisfaktor 1.1, tagsüber

Massnahme	Veränderungen Pkm in %, alle Verkehrszwecke												
	Innere Zone						Äussere Zone						
	PW	Bus	Zug	Velo	zu Fuss	total	PW	Bus	Zug	Velo	zu Fuss	total	
ohne Massnahme													
Busbillett- preise	-10%	-0.45	6.92	0.59	-1.58	-1.75	-0.08	1.29	6.08	2.33	-1.94	-2.98	1.38
	-50%	-1.26	21.7	-1.36	-4.09	-4.32	-0.05	0.33	18.7	0.92	-4.73	-5.43	2.18
Zugbillett- preise	-10%	-0.71	3.16	5.37	-1.60	-1.78	-0.08	1.08	2.91	7.36	-1.90	-3.14	1.55
	-50%	-2.70	0.83	25.6	-4.36	-4.65	-0.07	-0.85	1.25	30.2	-4.74	-6.47	3.30
Servicelevel Bus	+10%	-0.54	8.21	0.30	-1.84	-2.00	-0.11	1.05	8.48	2.07	-2.48	-3.43	1.51
	+50%	-1.51	23.5	-2.16	-4.61	-4.79	-0.24	-0.51	25.8	0.01	-6.26	-6.66	2.49
Servicelevel Zug	+10%	-0.60	3.38	3.94	-1.39	-1.54	-0.07	1.16	3.05	5.90	-1.74	-2.92	1.42
	+50%	-1.54	2.66	12.2	-2.47	-2.60	-0.03	0.17	2.61	15.4	-3.00	-4.33	2.09
Park- gebühren	+10%	-0.26	3.65	1.06	-1.00	-1.17	-0.07	1.51	3.19	2.62	-1.30	-2.42	1.19
	+50%	-0.20	3.68	1.11	-0.98	-1.15	-0.03	1.51	3.19	2.63	-1.29	-2.41	1.20
Parkplatz- angebot	-10%	-8.49	3.82	1.26	-0.88	6.26	-0.22	1.38	3.25	2.71	-1.24	-2.34	1.17
	-50%	-44.2	4.56	2.12	-0.35	39.0	-0.73	0.87	3.44	3.06	-0.99	-2.02	1.10
Strassenge- bühr Zent- rumszufahrt	+10 Pence	-0.26	3.65	1.05	-1.00	-1.17	-0.07	1.51	3.19	2.62	-1.30	-2.42	1.19
	+50 Pence	-0.20	3.68	1.11	-0.98	-1.15	-0.04	1.51	3.19	2.63	-1.30	-2.41	1.20
Morgen- spitze													
Strassenge- bühr Zent- rumszufahrt	+10 Pence	-1.16	3.80	1.25	-0.88	-1.02	-0.22	1.37	3.24	2.71	-1.24	-2.34	1.17
	+50 Pence	-4.35	4.39	2.01	-0.39	-0.45	-0.71	0.87	3.43	3.01	-1.01	-2.03	1.08
tagsüber													

Tabelle 24 Szenario Reurbanisierung, Benzinpreisfaktor 1.5, Morgenspitze

Massnahme	Veränderungen Pkm in %, alle Verkehrszwecke												
	Innere Zone						Äussere Zone						
	PW	Bus	Zug	Velo	zu Fuss	total	PW	Bus	Zug	Velo	zu Fuss	total	
ohne Massnahme		-2.63	-3.28	-1.03	-6.21	-5.45	-3.58	3.44	1.44	7.17	-0.76	-1.22	2.96
Busbillett- preise	-10%	-2.74	-0.29	-1.54	-6.81	-5.91	-3.58	3.16	4.06	6.88	-1.75	-2.21	3.16
	-50%	-3.26	12.5	-3.69	-9.29	-7.86	-3.56	1.94	14.9	5.59	-5.78	-6.24	3.95
Zugbillett- preise	-10%	-3.35	-3.79	2.94	-7.51	-6.56	-3.81	2.96	1.32	11.6	-1.81	-2.27	3.32
	-50%	-6.34	-5.96	18.5	-12.8	-11.2	-4.84	0.82	0.52	31.3	-6.26	-6.75	4.93
Servicelevel Bus	+10%	-2.85	4.55	-2.38	-7.83	-6.66	-3.55	2.56	9.31	6.29	-3.72	-4.17	3.55
	+50%	-3.85	31.4	-6.82	-13.1	-10.8	-3.46	-0.59	34.5	3.09	-12.8	-13.2	5.26
Servicelevel Zug	+10%	-3.43	-3.67	3.35	-7.67	-6.69	-3.82	2.82	1.38	12.5	-2.04	-2.50	3.39
	+50%	-5.78	-4.77	16.0	-11.8	-10.3	-4.52	0.97	1.14	27.9	-5.69	-6.17	4.61
Park- gebühren	+10%	-3.00	-3.10	-0.86	-6.06	-5.59	-3.70	3.41	1.46	7.20	-0.73	-1.17	2.96
	+50%	-4.41	-2.45	-0.20	-5.45	-6.14	-4.16	3.28	1.51	7.32	-0.60	-1.01	2.96
Parkplatz- angebot	-10%	-7.36	-2.82	-0.93	-6.13	1.85	-3.80	3.42	1.47	7.19	-0.74	-1.18	2.96
	-50%	-38.5	-1.24	-0.66	-5.92	36.2	-8.53	3.34	1.57	7.23	-0.69	-1.11	2.97
Strassenge- bühr Zent- rumszufahrt Morgen- spitze	+10 Pence	-2.98	-3.12	-0.87	-6.07	-5.58	-3.70	3.41	1.46	7.20	-0.73	-1.17	2.96
	+50 Pence	-4.33	-2.53	-0.23	-5.50	-6.09	-4.14	3.28	1.51	7.31	-0.61	-1.01	2.95
Strassenge- bühr Zent- rumszufahrt tagsüber	+10 Pence	-2.62	-3.25	-1.01	-6.19	-5.43	-3.56	3.45	1.45	7.17	-0.77	-1.22	2.96
	+50 Pence	-2.57	-3.21	-0.95	-6.14	-5.37	-3.51	3.45	1.44	7.17	-0.76	-1.21	2.97

Tabelle 25 Szenario Reurbanisierung, Benzinpreisfaktor 1.5, tagsüber

Massnahme	Veränderungen Pkm in %, alle Verkehrszwecke												
	Innere Zone						Äussere Zone						
	PW	Bus	Zug	Velo	zu Fuss	total	PW	Bus	Zug	Velo	zu Fuss	total	
ohne Massnahme		-0.81	3.84	1.39	-0.80	-0.94	-0.06	0.93	3.39	3.07	-1.06	-2.13	1.10
Busbillett- preise	-10%	-0.99	7.12	0.94	-1.37	-1.52	-0.06	0.71	6.28	2.77	-1.70	-2.69	1.29
	-50%	-1.80	22.0	-1.02	-3.89	-4.09	-0.03	-0.25	18.9	1.36	-4.49	-5.14	2.09
Zugbillett- preise	-10%	-1.25	3.35	5.73	-1.40	-1.55	-0.06	0.50	3.10	7.82	-1.66	-2.85	1.46
	-50%	-3.24	1.02	26.0	-4.16	-4.43	-0.05	-1.42	1.44	30.7	-4.51	-6.19	3.21
Servicelevel Bus	+10%	-1.09	8.41	0.65	-1.63	-1.77	-0.10	0.48	8.68	2.51	-2.24	-3.13	1.42
	+50%	-2.05	23.7	-1.81	-4.41	-4.57	-0.23	-1.08	26.0	0.45	-6.02	-6.37	2.40
Servicelevel Zug	+10%	-1.14	3.58	4.30	-1.18	-1.31	-0.05	0.59	3.24	6.36	-1.50	-2.62	1.33
	+50%	-2.08	2.85	12.6	-2.26	-2.38	-0.01	-0.40	2.80	15.9	-2.76	-4.05	2.00
Park- gebühren	+10%	-0.80	3.85	1.41	-0.80	-0.93	-0.05	0.93	3.39	3.07	-1.06	-2.12	1.10
	+50%	-0.74	3.88	1.46	-0.77	-0.92	-0.02	0.94	3.39	3.08	-1.05	-2.12	1.10
Parkplatz- angebot	-10%	-8.54	4.01	1.59	-0.68	6.08	-0.19	0.81	3.44	3.15	-1.00	-2.05	1.08
	-50%	-44.3	4.74	2.43	-0.17	38.9	-0.68	0.32	3.63	3.48	-0.76	-1.74	1.01
Strassenge- bühr Zent- rumszufahrt	+10												
	Pence	-0.80	3.84	1.41	-0.80	-0.93	-0.05	0.93	3.39	3.07	-1.06	-2.12	1.10
Morgen- spitze	+50												
	Pence	-0.74	3.88	1.46	-0.77	-0.92	-0.02	0.94	3.39	3.08	-1.05	-2.12	1.10
Strassenge- bühr Zent- rumszufahrt tagsüber	+10												
	Pence	-1.67	3.99	1.59	-0.67	-0.79	-0.20	0.80	3.44	3.15	-1.00	-2.04	1.08
	+50												
	Pence	-4.77	4.58	2.34	-0.19	-0.23	-0.66	0.31	3.62	3.45	-0.78	-1.74	0.99

4.5.3 Beurteilung der Resultate

Im Lichte der Zielsetzungen einer nachhaltigen Entwicklung gilt es, mehr Mobilität bei weniger Verkehr zu erreichen. Die Forderung nach weniger Verkehr kann in Anlehnung an das Triple-S-Prinzip (saving - shifting - smoothing; nach Keller, 1997) wie folgt differenziert werden (vgl. Heimgartner, 2000):

- 1. Priorität:
Vermeidung der Nachfrage nach Verkehrsleistung
- 2. Priorität:
Verlagerung der unvermeidbaren Nachfrage nach Verkehrsleistung auf die umweltverträglichsten Verkehrsmittel:
 - primär:
Verlagerung auf Langsamverkehrsmittel
 - sekundär:
Verlagerung auf öffentliche Verkehrsmittel
- 3. Priorität:
Möglichst umweltverträgliche Abwicklung der unvermeidbaren wie unverlagerbaren Nachfrage nach Verkehrsleistung¹⁷

Eine exakte Beurteilung der Resultate im Lichte dieser Kriterien ist schwierig, da sich die Einflüsse aus Szenarioparameter und Massnahmen überlagern. Die Auswirkungen der einzelnen Massnahmen sind demzufolge nicht nur im angezeigten Vergleich zum Basisjahr, sondern auch zum ohne durch Massnahmen beeinflusste Prognosezustand des jeweiligen Szenarios zu interpretieren. Zentral sind dabei folgende Feststellungen:

- Die zwei Szenarios führen in etwa zu ähnlichen Resultaten. Allerdings ist davon auszugehen, dass sich die Situation betreffend die externen Zone (restlicher Kanton Zürich), die TPM nicht anzeigt, ziemlich unterschiedlich gestalten dürfte.
- Die Verkehrsmengen sind in vielen der verschiedenen prognostizierten Fälle rückläufig. Bei der Interpretation dieser Resultate ist allerdings dahingehend Vorsicht geboten, dass die Verkehrssituation im gesamten Untersuchungsgebiet mengenmässig nicht unterschätzt wird. Insbesondere für das Szenario Des- und Suburbanisierung ist aufgrund der Bevölkerungsabwanderung in die externe Zone (restlicher Kanton Zürich) und der damit verbundenen Zunahme der Wegdistanzen eine erhebliche Zu-

¹⁷ Beispielsweise durch effizientere Motoren, E-Mobile, etc.

nahme der Verkehrsleistung zu erwarten. Diese Sachverhalte sind aber im TPM nicht ersichtlich, da es, wie schon erwähnt, keine Anzeigen zur externen Zone macht.

- Der Einfluss einer Benzinpreiserhöhung um 50% auf die Verkehrsmittelverteilung (Benzinpreisfaktor = 1.5) ist im Vergleich zu einer 10%-igen Erhöhung (Benzinpreisfaktor = 1.1) relativ bescheiden.
- Die jeweiligen Massnahmen erhöhen respektive reduzieren den Anteil des Verkehrsmittels, das die Massnahme betrifft. Die damit einhergehende Verlagerung unter allen Verkehrsmitteln gestaltet sich ziemlich gleichmässig. Eine Reduktion der Buspreise führt somit nicht nur zur Reduktion des PW-Anteils am Gesamtverkehr, sondern auch des Velos- und Fussgängerverkehrs.
- Die Aurswirkungen einer Erhöhung des Servicelevels im städtischen Bereich ist eher ungünstig, da dies zu einer Verlagerung von Velo und zu Fuss auf Bus und Bahn führt. Es ist jedoch anzunehmen, dass sich dieser Effekt auf die städtischen Gebiete mit vielen kurzen Wegdistanzen beschränkt und der Einfluss in der grossräumigen externen Zone günstiger wäre.
- Einzig die Reduktion des Parkplatzangebots in der inneren Zone vermag dort den PW-Anteil zu reduzieren, ohne dass zugleich auch der Langsamverkehr (Velo, zu Fuss) massgeblich an Anteil verliert. Allerdings gilt es dabei zu berücksichtigen, dass das Parkplatzmodell im TPM das Verhalten der PW-Benutzenden derart annimmt, dass sie bei knappem Parkplatzangebot den PW in der äusseren Zone abstellen und zu Fuss ins Zentrum gelangen.
- Aussagen zur Veränderung der Mobilität sind nur dahingehend möglich, als durch die Massnahmen betreffend den Servicelevel im öffentlichen Verkehr das Angebot aus- oder abgebaut und somit die Möglichkeit der Positionsveränderung im System Raum entsprechend beeinflusst wird.

Aufgrund dieser Feststellungen ergibt sich für die Planung insbesondere die Erkenntnis, dass Massnahmen zur Förderung des öffentlichen Verkehrs stets hinsichtlich ihrer Wirkung auf den nichtmotorisierten Individualverkehr zu untersuchen sind. Es gilt zu vermeiden, dass die Förderung der öffentlichen Verkehrsmittel zu einer Reduktion des Langsamverkehrs führt. Abbildungen 4 und 5 zeigen, wie im Falle der beiden Beispielszenarios eine Kombination der Förderung des öffentlichen Verkehrs und der Reduktion des Parkplatzangebots zu vergleichsweise günstigen Resultaten führen kann. In beiden Fällen wurde der Benzinpreisfaktor exemplarisch auf 1.1 gesetzt, der Einfluss dessen Erhöhung auf 1.5 ist vergleichsweise gering.

Abbildung 4 Massnahmenkombination Szenario Sub- und Desurbanisierung

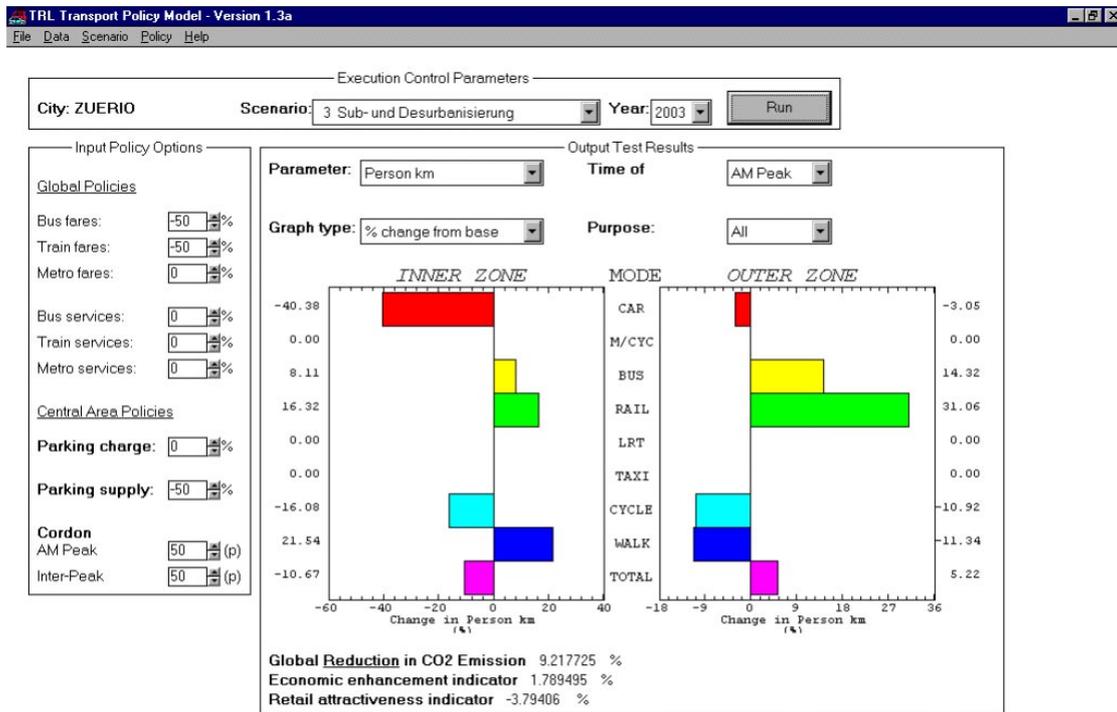
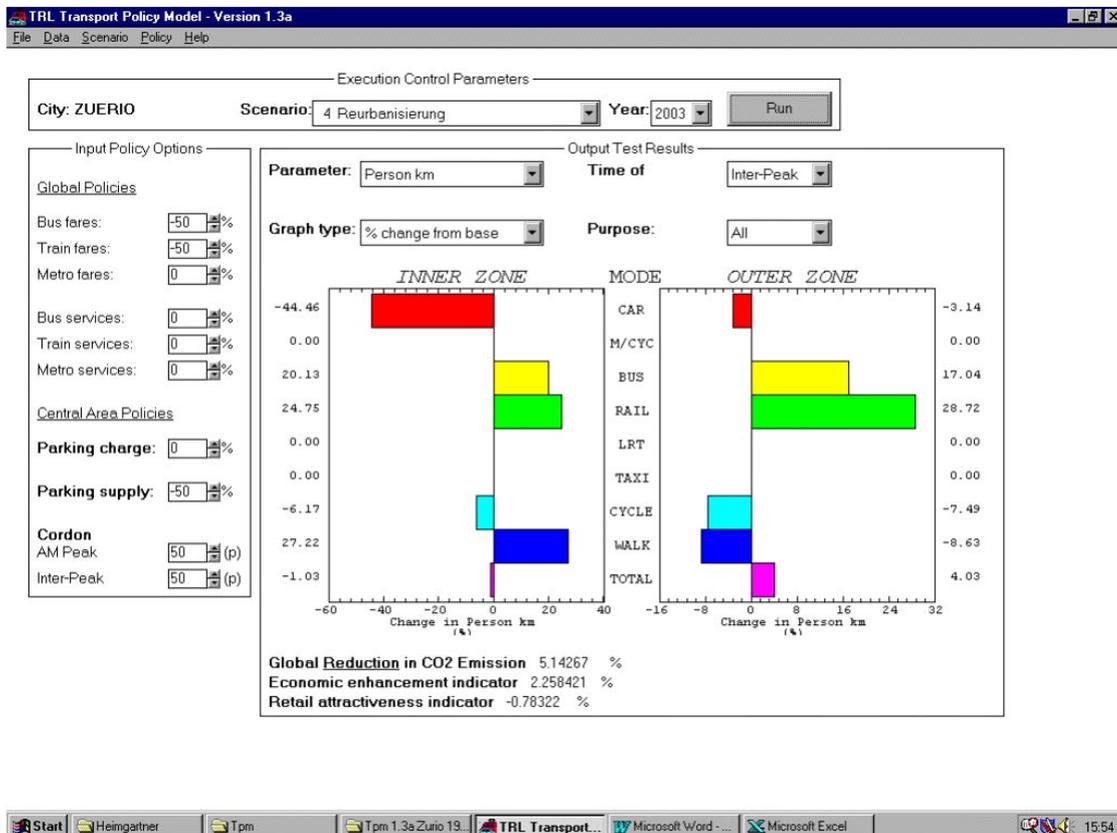
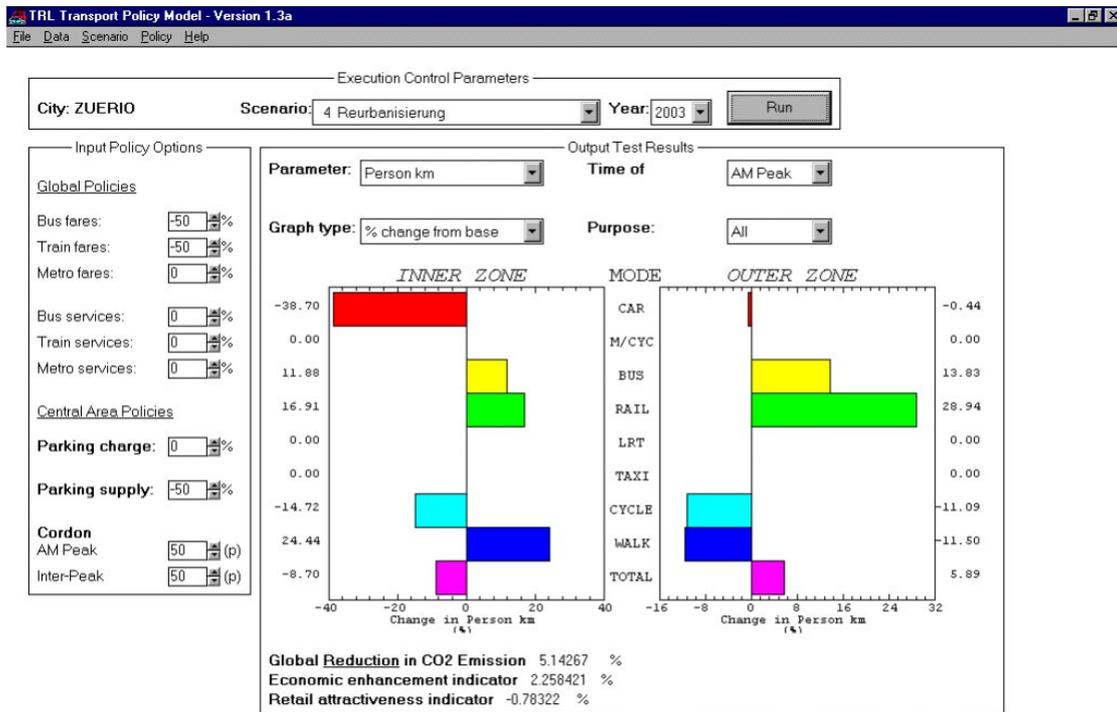


Abbildung 5 Massnahmenkombination Reurbanisierung



5. Fazit und Ausblick

Zieht man abschliessend und mit Blick auf die Fragen in Kapitel 2 ein Fazit, so gilt es festzuhalten, dass das TPM alle wesentlichen Elemente und Wirkungszusammenhänge, die in engem Zusammenhang mit der Erzeugung und Verteilung von Verkehr stehen, berücksichtigt. Insbesondere durch die breite Auswahl an Verkehrszwecken und Verkehrsmitteln steht ein Instrument zur Verfügung, das eine Beurteilung der Gesamtverkehrssituation betreffend den Personenverkehr ermöglicht. Durch die simultane Modellierung der Ziel- und Verkehrsmittelwahl ist den Zusammenhängen zwischen diesen beiden Verkehrsverhaltensaspekten Rechnung getragen und somit ein realitätsnäheres Verkehrsmodell erreicht, als dies vergleichsweise bei einem gestuften Ansatz der Fall wäre. Durch die Abbildung des Untersuchungsgebietes mittels dreier Zonen wird zwar ein Verlust der Detailgenauigkeit in Kauf genommen. Dafür wird aber nicht nur die Datenaufbereitung vereinfacht, sondern es entfällt auch ein aufwändiger Umlegungsalgorithmus.

Eine Interaktion zwischen Verkehr und Flächennutzung ist insoweit modelliert, als durch die Redistributionsparameter in bestimmtem Ausmass veränderte Zielwahl infolge veränderter generalisierter Kosten abgeschätzt werden kann. Eine veränderte Verteilung von Bevölkerung und Arbeitsplätzen auf die drei Zonen hingegen kann nicht endogen erzeugt werden. Sie ist im Rahmen der Szenarios exogen vorzugeben. Kostenaspekte der Flächennutzungen, wie sie in vielen integrierten Verkehrs- und Flächennutzungsmodellen abgebildet sind (vgl. Wegener und Fürst, 1999), werden nicht berücksichtigt. Die Nichtdarstellung der Verkehrsverhältnisse in der externen Zone verunmöglicht die Analyse wichtiger Aspekte, so zum Beispiel Konzentration der Arbeitsplätze, Dispersion der Wohnstandorte, die in Agglomerationen wie derjenigen von Zürich das Verkehrsgeschehen und dessen Auswirkungen auf die Umwelt wesentlich prägen. Die in TPM Version 1.3a verwendbaren Radien für die innere und die äussere Zone sind nach oben hin begrenzt (5 km für die innere Zone, 12 km für die äussere Zone) und würden lediglich eine äussere Zone ermöglichen, die knapp bis über einen Kreis Oberrieden-Affoltern a. A.-Rudolfstetten-Dietikon-Buchs-Oberglatt-Nürensdorf-Volketswil-Forch-Herrliberg¹⁸ hinausreichen würde. Somit blieben viele Wohnstandorte (z.B. Umgebung Mutschellen, nahes Reusstal, Baden, Bülach, Uster, Wetzikon, beide oberen Zürichseeufer mit Ortschaften wie Meilen, Stäfa, Wädenswil, Richterswil, Wollerau und Rapperswil etc.), die star-

¹⁸ Natürlich wäre es theoretisch optimaler gewesen, die Zoneneinteilung so zu wählen, dass die innere Zone die ganze Stadt Zürich und die äussere Zone mit maximalem Radius das entsprechend grösstmögliche Gebiet umfasst hätten. Dies hätte allerdings eine vergleichsweise aufwändigere Datenaufbereitung insbesondere hinsichtlich der Wege zwischen der äusseren und der externen Zone erfordert.

ken Einfluss auf die Raumentwicklung haben) der in Zürich arbeitenden Bevölkerung der externen Zonen zugeordnet. Idealerweise müsste also das gesamte Agglomerationsgebiet Zürich in die äussere Zone integriert werden können.

Eine Beurteilung der Auswirkungen der Massnahmen im Lichte von Verkehrsvermeidung und -verlagerung ist sehr gut möglich, als das TPM die Veränderung der Anteile der einzelnen Verkehrsmittel als auch der Gesamtverkehrsmenge ermittelt und anzeigt. Die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Ausgabegrössen sind indessen undurchsichtig und nur schwer nachvollziehbar. Zudem ist die Skalierung der angezeigten Einheiten nicht über alle Zustände konstant, sodass im Vergleich verschiedener Prognosezustände die Balken, welche die Veränderung der einzelnen Grössen visualisieren, nur mit Vorsicht aufgrund ihrer Länge zu interpretieren sind. Die Darstellung einzig von Veränderungen infolge Massnahmen und Szenarioparametern im Vergleich zum Basiszustand anstatt absoluter Grössen macht die Interpretation der Modellresultate äusserst schwierig. Die Kenntnis allein einer Veränderung reicht letztlich nicht aus, zukünftige Entwicklungen hinsichtlich Nachhaltigkeit zu beurteilen. Vielmehr bedarf es der groben Kenntnis künftiger Zustände und der zentralen Werte nach Grössenordnung. Zwar kann aufgrund der Kenntnis der Eingabedaten und auch aufgrund der ermittelten Veränderungen für einen Prognosezustand anhand der Veränderungen absolut und prozentual auf die Werte des prognostizierten Zustandes geschlossen werden, was aber äusserst unkomfortabel ist. Zudem ist die richtige Interpretation der Modellresultate insofern erschwert, als sich im Falle der Szenarios die Einflüsse aufgrund der Szenarioparameter und der Massnahmen überlagern. Durch die drei globalen Indikatoren (globale Reduktion der CO₂-Emissionen, Indikator des Wirtschaftswachstums, Indikator der Attraktivität für Einzel- und Detailhandel) und die Verkehrssicherheit ermöglicht das Modell erste Aussagen in einem weiteren Nachhaltigkeitskontext. Fragen zu Aspekten wie etwa Ressourcen- und Finanzhaushalt, Lärm und soziale Gerechtigkeit unter anderem gerade auch hinsichtlich Mobilität (adäquat gleicher Zugang zum Verkehrssystem und gleiche Erreichbarkeiten für alle) sind mittels TPM nicht direkt beantwortbar. Zudem prognostiziert das TPM Zustände stets basierend auf dem Ausgangszustand. Im Hinblick auf eine nachhaltige Entwicklung ist die Prognose verschiedener Entwicklungsschritte mit entsprechenden Rückwirkungen zwischen den verschiedenen Zeitpunkten wünschenswert. Im Idealfall wäre gar die Entwicklung des betrachteten Systems im Verlaufe der Zeit simulierbar.

Im Vergleich mit aktuellen Verkehrsmodellen disaggregierterer Natur ist das TPM vom konzeptionellen Standpunkt her nicht als weiterentwickelt zu betrachten. Es trägt wie viele Modellansätze einem breiteren Systemverständnis vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Ent-

wicklung nicht Rechnung, da viele Umweltsystemelemente nicht berücksichtigt sind¹⁹. Einzig der Aufwand für die Datenaufbereitung ist erheblich kleiner, wobei dies auf Kosten der Genauigkeit der Resultate geht. Mit aktuellen Verkehrsmodellen basierend auf vielen Zonen können nicht nur die gleichen Fragen mit vergleichsweise grösserer Genauigkeit bearbeitet werden, sondern sie erlauben auch die Analyse detaillierter Fragestellungen wie etwa den Einfluss einer neuen Verbindung zwischen zwei Zonen oder einer preispolitischen Massnahme auf derselben. Ob und wo ein Einsatz des TPM in der Praxis als sinnvoll zu erachten ist, kann hier allerdings nicht abschliessend beurteilt werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Anwendung von TPM dort in Betracht gezogen werden kann, wo aus den verschiedensten Gründen auf einen Einsatz vergleichsweise disaggregierterer Modelle verzichtet wird respektive verzichtet werden muss, etwa weil die finanziellen Situation dies nicht erlaubt wie beispielsweise in Entwicklungsländern.

Bei der Entwicklung neuer hochaggregierter Modellansätze ist somit folgenden Punkten Rechnung zu tragen:

- Die hochaggregierten Modelle werden entweder bewusst für einen Einsatz in einem Bereich, wo aus den verschiedensten Gründen ein Einsatz vorhandener disaggregierterer Modelle nicht möglich ist, entwickelt,
- oder aber sie sind in ihrer Struktur so zu konzipieren, dass sie im Vergleich zu vorhandenen disaggregierteren Modellen neue und im Bezug zur Nachhaltigkeit wichtige Elemente und Aspekte berücksichtigen.

Werden diese Punkte befolgt, so können mit den entwickelten Ansätzen wertvolle Beiträge für eine nachhaltige Entwicklung geleistet werden.

¹⁹ Auch in den meisten integrierten Verkehrs- und Flächennutzungs-Modellen werden die Umweltsystemelemente nur unvollständig berücksichtigt (vgl. dazu Wegener und Fürst, 1997).

6. Literatur

- Abay, G. und K. W. Axhausen (2000) Zeitkostenansätze im Personenverkehr: Vorstudie, *SVI Forschungsberichte*, **42/00**, Bundesamt für Strassen, Bern.
- Brändli H. und H. Müller (1981) Fahrplanabhängigkeiten des Fahrgastzuflusses zu Haltestellen, *IVT-Bericht*, **81/5**, 27-29, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, ETH Zürich, Zürich.
- Brändli H. und S. Dasen (1997) Busse, *Grundlagen des öffentlichen Verkehrs*, **H4**, Vorlesungsautographie, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, ETH Zürich, Zürich.
- Brändli H. und S. Rangosch (1991) Fahrzeuge für den öffentlichen Verkehr, *Grundlagen des öffentlichen Verkehrs*, **H3**, Vorlesungsautographie, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, ETH Zürich, Zürich.
- Bundesamt für Statistik (1995a) Mikrozensus Verkehrsverhalten 1994, Datei Haushalte (DATA.HH), Bundesamt für Statistik, Bern.
- Bundesamt für Statistik (1995b) Mikrozensus Verkehrsverhalten 1994, Datei Personen im Haushalt (DATA.HP), Bundesamt für Statistik, Bern.
- Bundesamt für Statistik (1998) Forum Schule: Zusatzmaterial zum Thema Kaufkraft, Internetseite, <http://www.statistik.admin.ch/schule/ds0103.htm>, Neuchâtel.
- Bundesamt für Strassen und Sigmoplan AG (1999) Automatische Strassenverkehrszählung 1997 und 1998, Datenbank und Abfragesystem (AVZ-CD), Version 1.0, Bundesamt für Strassen und Sigmoplan AG, Bern.
- Dasgupta, M., R.H. Oldfield, K. Sharman und V. Webster (1994) Impact of transport policies in five cities, *Project Report*, **107**, Transport Research Laboratory, Crowthorne.
- Department of the Environment, Transport and the Regions (1997) *Design Manual for Roads and Bridges*, Her Majesty's Stationary Office, Norwich.
- Dietrich, K., M. Rotach und E. Boppart (1993) Strassenprojektierung, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, ETH Zürich, Zürich.
- Heimgartner, Ch. (2000) Kollektives Siedlungs- und Verkehrsverhalten der Bauingenieur-Studierenden im 4. Semester – Auswertung einer Übung zur Vorlesung „Siedlung-Umwelt-Verkehr“ im 4. Semester (Sommersemester 1999) an der Abteilung II der ETH Zürich, *Arbeitsberichte Verkehr- und Raumplanung*, **28**, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, ETH Zürich, Zürich.

- Heimgartner, Ch. (2001a) Systemdynamische Simulation von Verkehr und Flächennutzungen - Evaluation nachhaltigkeitsfördernder Massnahmen, Dissertationszwischenbericht 1, *Arbeitsberichte Verkehr- und Raumplanung*, **61**, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, ETH Zürich, Zürich.
- Heimgartner, Ch. (2001b) System dynamic modelling of transport and land use - A first model draft, Vortrag an der 1. Swiss Transport Research Conference, Ascona, März 2001, *Arbeitsberichte Verkehr- und Raumplanung*, **65**, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, ETH Zürich, Zürich.
- Hidber, C., E. Meier und Z. Oblozinska (1998) Verkehrsplanung, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, ETH Zürich, Zürich.
- Keller, M., R. Iten, Ch. Aebi, S. Altheer und R. Frick (1998) Staukosten im Strassenverkehr, Zusammenfassung, <http://www.infras.ch/pdf/z-762.pdf>, Infrac, Zürich.
- Keller, P. (1997) Mobilität, Vortrag an der BVS-Tagung *Zukünftige Aufgaben der kommunalen Raumplanung, Themen-Thesen-Taten*, ITR Rapperswil, September 1997.
- Oldfield, R.H. (1993) A strategic transport model for the London area, *Research Report*, **376**, Transport Research Laboratory, Crowthorne.
- Rotach, M., M. Cogliatti, M. Grob, B. Singer und J. Sollberger (1993) *Siedlung Umwelt Verkehr*, Vorlesungsskript, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, ETH Zürich, Zürich.
- SNZ Ingenieurbüro AG (1996) Sind unsere Parkgebühren vertretbar? *SNZ-Notizen*, **456**, SNZ Ingenieurbüro AG, Zürich.
- Statistisches Amt der Stadt Zürich (1991) *Statistisches Jahrbuch der Stadt Zürich 1991*, Statistisches Amt der Stadt Zürich, Zürich.
- Statistisches Amt der Stadt Zürich (1993) *Statistisches Jahrbuch der Stadt Zürich 1993*, Statistisches Amt der Stadt Zürich, Zürich.
- Statistisches Amt der Stadt Zürich (1999) *Statistisches Jahrbuch der Stadt Zürich 1999*, Statistisches Amt der Stadt Zürich, Zürich.
- Statistisches Amt des Kantons Zürich (1996) *Statistisches Jahrbuch des Kantons Zürich 1997*, Statistisches Amt des Kantons Zürich, Euro Data Shop Zürich, Zürich.
- Statistisches Amt des Kantons Zürich (1999) *Statistisches Jahrbuch des Kantons Zürich 2000*, Statistisches Amt des Kantons Zürich, Euro Data Shop Zürich, Zürich.
- Tiefbauamt des Kantons Zürich und Jenni+Gottardi AG (1994) Verkehrsmodell Kanton Zürich, Dokumentation, Jenni+Gottardi AG, Zürich.

- Touring Club Schweiz (2001) Treibstoffpreise, Internet-Seite,
[http://www.tcs.ch/webtcs/TCSPubli.nsf/\(DocByID\)/\(8180159B0A44844BC1256AAA004AC206\)!OpenDocument&language=de](http://www.tcs.ch/webtcs/TCSPubli.nsf/(DocByID)/(8180159B0A44844BC1256AAA004AC206)!OpenDocument&language=de), Vernier.
- TRL (2001a) Reply to Heimgartner's questions, Antworten des TRL auf Fragen des Autors, Transport Research Laboratory, Crowthorne.
- TRL (2001b) TRL Transport Policy Model - User Manual Version 1.3, Transport Research Laboratory, Crowthorne.
- Vrtic, M., O. Meyer-Rühle, St. Rommerskirchen, P. Cerwenka und W. Stobbe (2000) Sensitivitäten von Angebots- und Preisänderungen im Personenverkehr, *Forschungsberichte*, **44/98**, Bundesamt für Strassenbau, Bern.
- Walther, R. (2000) Parkierungsdaten Stadt Zürich per 31.12.1999, E-Mail vom 22.6.2000, Verkehrsplanung Tiefbauamt Stadt Zürich, Zürich.
- Webster, V. und M. Dasgupta (1993) Comparative Assessment of Three Models for Leeds, *Department of Transport TRL Project Report*, **PR/TR/024/93**, Transport Research Laboratory, Crowthorne.
- Wegener, M. und F. Fürst (1999) Land-Use Transportation Interaction: State of the Art, *Berichte aus dem Institut für Raumplanung* **46**, Institut für Raumplanung, Universität Dortmund.
- Zürcher Verkehrsverbund (2000) Selten unterwegs, Webseite,
http://www.zvv.ch/preise_seltenunterwegs.htm, Zürich.

Die *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung* dienen der schnellen Verbreitung der Ergebnisse der Arbeit der Mitarbeitenden und Gäste des Instituts. Die Verantwortung für Inhalt und Gestaltung liegt alleine bei den Autor/innen.

The *Working Papers Traffic and Spatial Planning* are intended for the quick dissemination of the results of the members and guests of the Institute. Their content is the sole responsibility of the authors.

Eine vollständige Liste der Berichte kann vom Institut angefordert werden:

A complete catalogue of the papers can be obtained from:

IVT ETHZ
ETH Hönggerberg (HIL)
CH - 8093 Zürich

Telefon: +41 (0)1 633 31 05

Telefax: +41 (0)1 633 10 57

E-Mail: hotz@ivt.baug.ethz.ch

WWW: www.ivt.baug.ethz.ch

Der Katalog kann auch abgerufen werden von:

The catalogue can also be obtained from:

http://www.ivt.baug.ethz.ch/vrp/arbeitsberichte_d.html