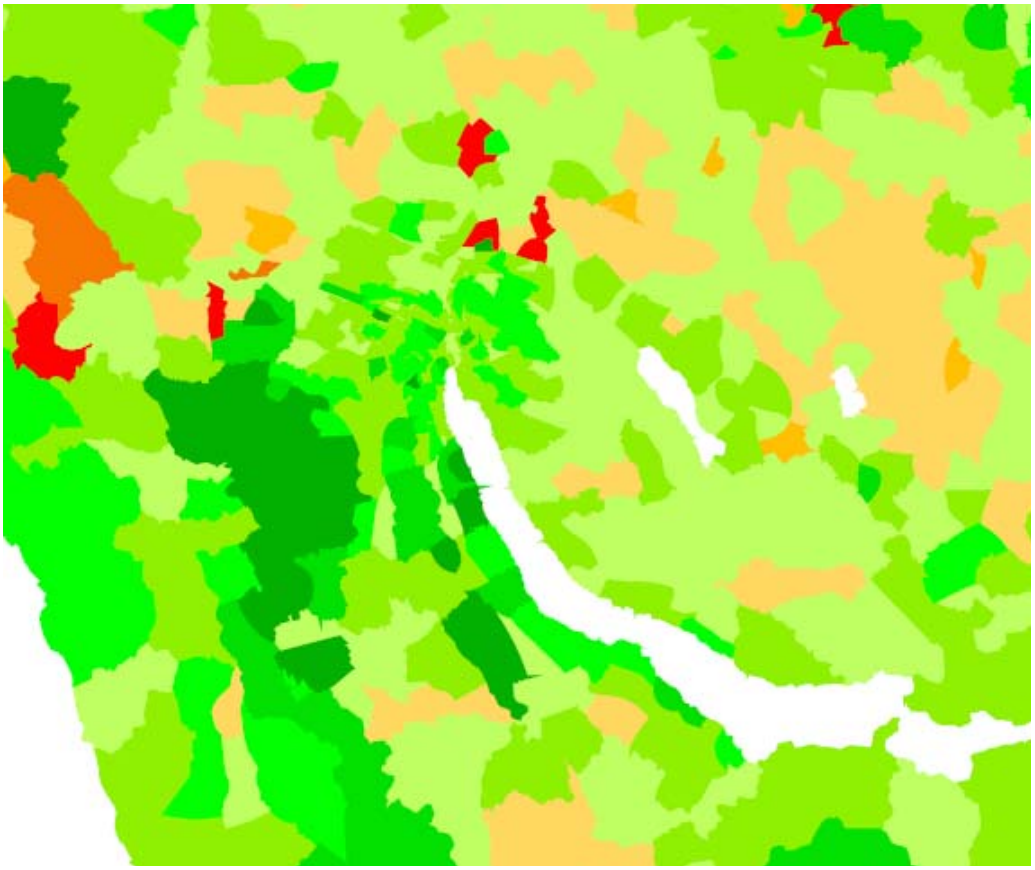


Einfluss der Erreichbarkeit auf die Raumnutzung am Beispiel des Grossraums Zürich

Stephan Erne

Abschlussarbeit
MAS ETH in Raumplanung **21.11.2007**

MAS ZLG
Master of Advanced Studies in Raumplanung
Zertifikat in Raumentwicklung

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Dank

Ich danke dem Leiter meiner Diplomarbeit, Prof. Dr. Kay W. Axhausen vom Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme der ETH Zürich, sowie dem Korreferenten, Dr. Mike Redle, Projektleiter beim Amt für Verkehr des Kantons Zürich, für die Betreuung und die wertvollen Hinweise während der ganzen Arbeit. Den Assistenten Michaela Bürgle und Michael Löchl danke ich für die oft zeitintensive Unterstützung, auch während schwieriger Phasen der Arbeit.

Weiter möchte ich Philipp Fröhlich und Dr. Milenko Vrtic von der IG-Modus für ihre Hinweise bei der Verkehrsmodellierung danken, ebenso Dr. Niklaus Bischofberger vom Tiefbauamt des Kantons Zürich für wichtige Angaben bezüglich des kantonalen Verkehrsmodells.

Meinen Vorgesetzten bei der Firma Ernst Winkler + Partner AG, Andreas Isler und Benno Singer, danke ich für das Entgegenkommen hinsichtlich flexibler Arbeitszeit und meinen Kolleginnen und Kollegen im Geschäftsbereich Verkehrsplanung für das Verständnis dafür, dass ich in den letzten Monaten oft der Erstellung dieser Arbeit Vorrang geben musste.

Zuletzt danke ich ganz besonders meiner Frau Michaela und meinem Sohn Leo für die grosse Geduld und die moralische Unterstützung in den letzten zwei Jahren.

Inhaltsverzeichnis

1 Gegenstand der Arbeit 2

1.1 Hintergrund der Untersuchung 2

1.2 Modellierung von Standortentscheidungen 17

1.3 Aufgabenstellung und Randbedingungen 20

2 Versuchsplan 22

2.1 Vorgehen 22

2.2 Szenarien 24

3 Modellierung der Erreichbarkeiten 32

3.1 Beschreibung des Vorgehens 32

3.2 Modellberechnungen MIV 34

3.3 Modellberechnungen ÖV 40

3.4 Ermittlung der Erreichbarkeit 45

4 Modellierung der Standortentscheidungen 47

4.1 Geschätzte Teilmodelle in UrbanSim 47

4.2 Neuberechnung der Nachfragematrizen 54

5 Resultate nach Szenarien 56

5.1 Basisszenario 2003 56

5.2 Basisszenario 2010 59

5.3 Basisszenario 2020 63

5.4 Szenarien 2020 64

6 Schlussfolgerungen 78

6.1 Anwendbarkeit von UrbanSim 78

6.2 Zusammenspiel von Raum und Verkehr 79

7 Literatur 82

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Spezifischer Endergieverbrauch für wohnungsabhängigen Verkehr.....13

Tabelle 2 Veränderung der Distanzen zu Versorgungseinrichtungen *1990 - 2000*....15

Tabelle 3 Netzzustände und MIV-Elemente.....27

Tabelle 4 Netzzustände und Elemente des S-Bahnverkehrs.....29

Tabelle 5 Netzzustände und Elemente des städtischen ÖV 30

Tabelle 6 Regionalisierte Bevölkerungsprognosen Kanton Zürich 2004-2030 31

Tabelle 7 Streckentypen im MIV-Modell aus dem GVM.....34

Tabelle 8 Zuweisung von Realisierungszeitpunkten zu Streckuntertypen 35

Tabelle 9 Streckentypen für Neubaustrecken 40

Tabelle 10 Verwendete Kenngrössenparameter aus Modellumlegungen.....45

Tabelle 11 Modellparameter für alle Verkehrszwecke 46

Tabelle 12 Umzugswahrscheinlichkeiten nach Einkommen und Altersklasse.....48

Tabelle 13 Modellparameter Mietpreismodell 49

Tabelle 14 Erreichbarkeitsvariablen im Wohnstandortwahlmodell.....51

Tabelle 15 Basisszenario 2010 – Wichtige Kennzahlen 63

Tabelle 16 Basisszenario 2020 – Wichtige Kennzahlen 63

Tabelle 17 Codierung der MIV-Netzelemente.....i

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Gedankenmodell zur Dynamik der Raumentwicklung.....2

Abbildung 2 Schematische Darstellung der wichtigsten Verkehrsflüsse im Raum .4

Abbildung 3 MIV-Anteil am Pendlerverkehr 9

Abbildung 4 Funktionsprinzip UrbanSim 19

Abbildung 5 Untersuchungsperimeter.....21

Abbildung 6 Übersicht Vorgehen 23

Abbildung 7 Übersicht ÖV-Angebotselemente nach ZVV-Vision.....25

Abbildung 8 Übersicht Strassenbauvorhaben nach Szenarien.....28

Abbildung 9 Vorgehen Ermittlung Erreichbarkeiten 33

Abbildung 10 CR-Funktionen gemäss kantonalem Verkehrsmodell.....36

Abbildung 11 FlaMa West: Geänderte Abbiegebeziehungen Seebahnstrasse 38

Abbildung 12 Linienführungen Glattalbahn und Stadtbahn Limmattal 41

Abbildung 13 Verfahrensparameter ÖV-Umlegung in VISUM 43

Abbildung 14 Funktionsweise der vereinfachten Standortwahlmodellierung 52

Abbildung 15 Referenzzustand 2003 - Modalsplit.....56

Abbildung 16 Referenzzustand 2003 – Intermodale Erreichbarkeit.....57

Abbildung 17 Referenzzustand 2003 – Erreichbarkeit mit öffentlichem Verkehr 58

Abbildung 18 Reisezeiten MIV zum Bürkliplatz für Ist 2003 und Basis 2010.....59

Abbildung 19 Basis 2010: Differenz Modalsplit zu Ist 2003 60

Abbildung 20 Basis 2010: Differenz Mietpreise zu Ist 2003 61

Abbildung 21 Basis 2010: Zu- und Wegwanderungen gegenüber Referenz 2010 . 62

Abbildung 22 Szenario 1 2020: Veränderung Erreichbarkeit vgl. mit Referenz 65

Abbildung 23 Szenario 1 2020: Veränderung ÖV-Erreichbarkeit vgl. mit Referenz 66

Abbildung 24 Szenario 1 2020: Veränderung ÖV-Anteil vgl. mit Referenz 67

Abbildung 25 Szenario 1 2020: Wanderungen gegenüber Referenz 2020 68

Abbildung 26 Szenario 2 2020: Veränderung Erreichbarkeit vgl. mit Referenz 70

Abbildung 27 Szenario 2 2020: Veränderung ÖV-Anteil vgl. mit Referenz 71

Abbildung 28 Szenario 2 2020: Mietpreisveränderung vgl. mit Referenz 73

Abbildung 29 Szenario 2 2020: Wanderungen gegenüber Referenz 2020 74

Abbildung 30 Szenario 3 2020: Veränderung Erreichbarkeit vgl. mit Referenz 75

Abbildung 31 Szenario 3 2020: Wanderungen gegenüber Referenz 2020 76

Abkürzungen

ARE	Bundesamt für Raumentwicklung, Bern
ARV	Amt für Raumordnung und Vermessung des Kantons Zürich
BfS	Bundesamt für Statistik, Neuenburg
CBD	Central Business District (Zentrum des Grossraums Zürich: Bürkliplatz)
GVM	Gesamtverkehrsmodell des Kantons Zürich (MIV und ÖV)
HLS	Hochleistungsstrassen
HVS	Hauptverkehrsstrassen
KVM	Kantonales Verkehrsmodell des Kantons Zürich (MIV)
LITRA	Informationsdienst für den öffentlichen Verkehr
MIV	Motorisierter Individualverkehr
NSL	Netzwerk Stadt und Landschaft der ETH Zürich (früher: ORL)
ÖV	Öffentlicher Verkehr
ORL	Institut für Orts-, Regional- und Landesplanung der ETH Zürich (heute: NSL)
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr und Energie
ZUK	Zukunft Urbane Kulturlandschaften (Polyprojekt des NSL)
ZVV	Zürcher Verkehrsverbund

Abschlussarbeit im Nachdiplomstudium Raumplanung

Einfluss der Erreichbarkeit auf die Raumnutzung am Beispiel des Grossraums Zürich

Stephan Erne, dipl. Bauingenieur ETH/SVI

	Projektleiter Verkehrsplanung
	Ernst Winkler + Partner AG
Breitenstrasse 8	Rikonerstrasse 4
8108 Dällikon	8307 Effretikon
Telefon: 043 495 31 13	052 354 21 90
Telefax: --	052 343 19 95
stephan.erne@alumni.ethz.ch	stephan.erne@ewp.ch

22.11.2007

Kurzfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die quantitative Analyse der Wechselwirkungen zwischen Siedlung und Verkehr. Für fünf verschiedene Zustände werden die intermodalen Erreichbarkeiten und die Reisezeiten ins Zentrum von Zürich ermittelt. Anschliessend werden ceteris paribus die Mietpreise neu gerechnet und mit einem vereinfachten Verfahren auf Basis des UrbanSim-Parametersets die Standortentscheidungen der privaten Haushalte modelliert.

Die Resultate zeigen, dass UrbanSim prinzipiell einen interessanten Ansatz für die quantitative Analyse der Wechselwirkungen zwischen Siedlung und Verkehr darstellt. Die Berechnungen zeigen, dass insbesondere die Reisezeit mit dem Individualverkehr ins Zentrum von Zürich eine überaus bedeutende räumliche Wirkung entfaltet, während die ÖV-Erreichbarkeit nur eine untergeordnete Rolle spielt. Als Folge davon fördern Strassenbauvorhaben, die die Isochronen vom Zentrum von Zürich her verschieben, die Zersiedelung, indem sie periphere Räume stärker wachsen lassen. Tangentiale Strassenneubauten üben dagegen nur eine beschränkte Wirkung aus, während ÖV-Ausbauten vorwiegend die Verkehrsmittelwahl beeinflussen und kaum räumliche Wirkung entfalten.

Schlagworte

Erreichbarkeit, Standortwahl, Erschliessungswirkung, Raumnutzung, Flächennutzungsmodell

Zitierungsvorschlag

Erne, S. (2007) Einfluss der Erreichbarkeit auf die Raumnutzung am Beispiel des Grossraums Zürich, Masterarbeit Nachdiplomstudium MAS Raumplanung, NSL ETH Zürich

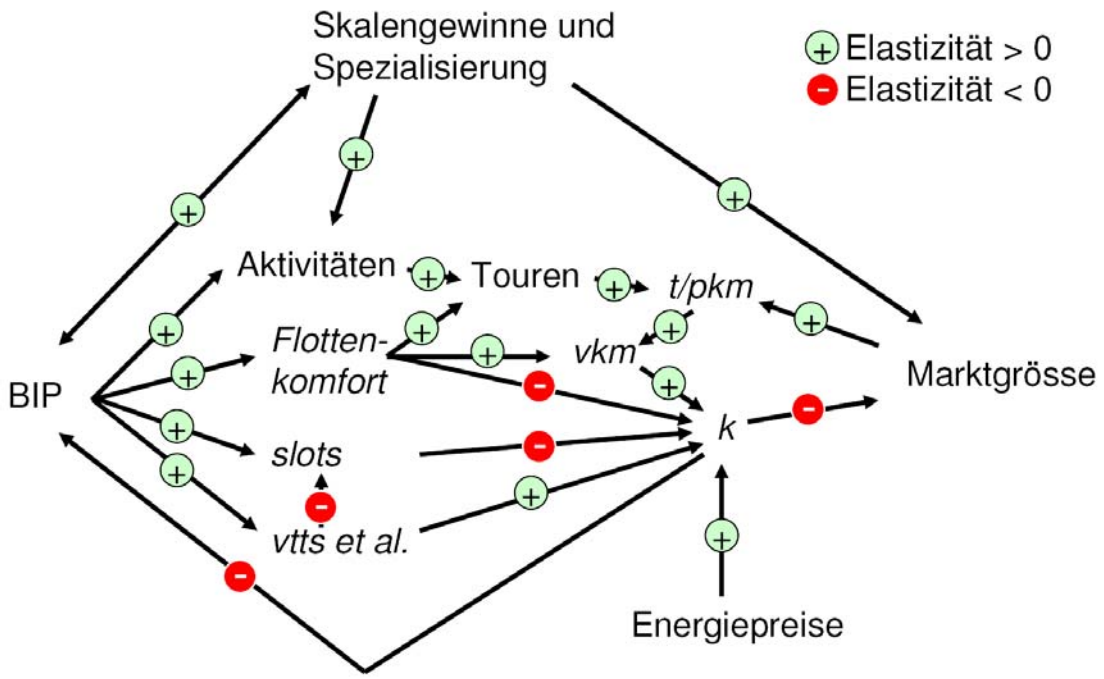
1 Gegenstand der Arbeit

1.1 Hintergrund der Untersuchung

1.1.1 Zusammenspiel von Raum und Verkehr

Verkehr entsteht als Folge menschlicher Aktivitäten. Private befriedigen ihre Bedürfnisse an verschiedenen Orten und zu unterschiedlichen Zeiten und müssen dazu Wege zurücklegen. Verkehrsinfrastruktur wird als Folge dieser Nachfrage in erster Linie geplant und erstellt, um die Distanzen zwischen den verschiedenen Nutzungen zu verkleinern und so die Reichweiten und Wirkungsradien von Bevölkerung und Wirtschaft zu erweitern, damit die Regionen wirtschaftlich prosperieren können (Fröhlich et al., 2005). Diese Zusammenhänge können mit folgendem Gedankenmodell veranschaulicht werden.

Abbildung 1 Gedankenmodell zur Dynamik der Raumentwicklung



Quelle: Axhausen, 2006

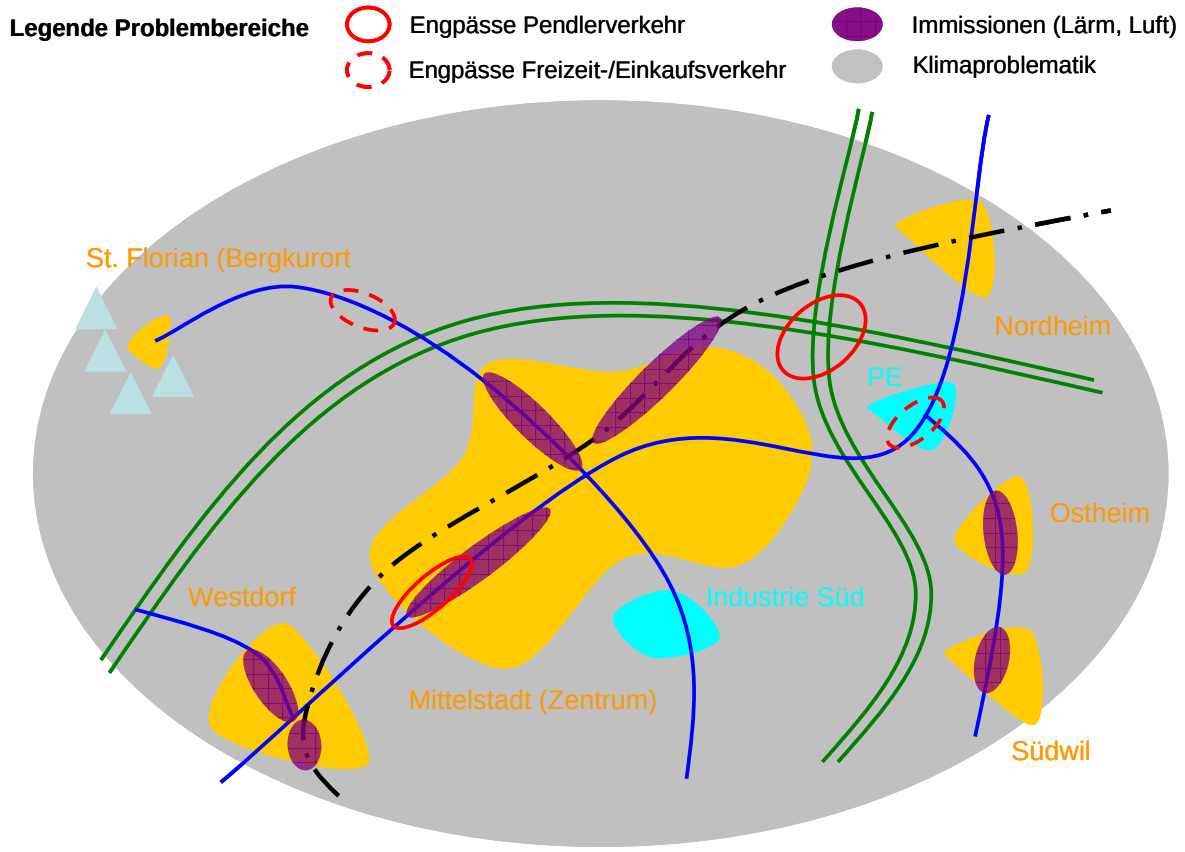
Entscheidend sind dabei die Rückkopplungen: Gesenkte Kosten k erhöhen nicht nur die Marktgrösse (i.e. die Erreichbarkeit), sondern auch die Wirtschaftsleistung. Diese wiederum – gemessen als Bruttoinlandprodukt – vergrössert den Zeitwert und die Nachfrage und ermöglicht damit wiederum einen effizienteren Betrieb der Verkehrsinfrastruktur, was die Kosten weiter reduziert. Zudem stehen Wirtschaftsleistung und Skalengewinne in enger Wechselwirkung, was sich wiederum positiv auf die Erweiterung der Marktgrösse auswirkt. Das Verkehrssystem stellt demnach ein wichtiges Element der räumlichen Dynamik dar, das im Allgemeinen eine Ausweitung von Einzugsgebieten und Verkehrsleistung nach sich zieht.

Aufgrund der Verschiedenartigkeit der Aktivitäten – Regelmässigkeit, Tageszeit, Planbarkeit – ist die entstehende Verkehrsnachfrage in verschiedener Hinsicht äusserst differenziert: Während zum Beispiel Pendlerverkehr und Einkaufsverkehr zu grossen örtlichen und zeitlichen Konzentrationen der Nachfrage führen, ist der Freizeit- und Geschäftsverkehr meist viel disperser. Neben dem Privatverkehr ist zudem auch der Güterverkehr von steigender Bedeutung, insbesondere als Folge der zunehmenden Spezialisierung der globalisierten Wirtschaft. Gegenüber dem Privatverkehr zeichnet er sich durch grössere Weglängen bei grosser zeitlicher und örtlicher Disparität aus (Ortuzar und Willumsen, 2001). Diese unterschiedlichen Charakteristika der Verkehrsnachfrage bedingen eine differenzierte und mehrschichtige Betrachtung.

Die in Abbildung 2 skizzierten Überlagerungen der wichtigsten Verkehrsflüsse und ihre Auswirkungen führen an verschiedenen Stellen der Verkehrsnetze des privaten und öffentlichen Verkehrs zu ganz unterschiedlichen Fragestellungen und Problemfeldern:

- Regelmässige Kapazitätsprobleme auf den Zufahrten zu den grossen Zentren während der Hauptverkehrszeiten des Pendlerverkehrs
- Periodische Belastungsspitzen um wichtige Ziele des Einkaufs- und Tourismusverkehrs
- Immissionen (Luft, Lärm) zulasten der Anwohner wichtiger Verkehrsachsen mit unterschiedlicher zeitlicher Ausdehnung
- Flächendeckende negative Auswirkungen des motorisierten Verkehrs hinsichtlich der Klimaproblematik

Abbildung 2 Schematische Darstellung der wichtigsten Verkehrsflüsse im Raum



Die Abwicklung der Verkehrsnachfrage hat also nach unserem heutigen Verständnis nicht nur systemeigenen Anforderungen (Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit, Geschwindigkeit, Komfort, etc.) gerecht zu werden, sondern es sind auch die Wechselwirkungen zum Gesamtraum und zu den benachbarten Nutzungen und Potentialen zu berücksichtigen, um der Forderung einer nachhaltigen Planung nachzukommen. Der Verkehr ist einerseits Konsequenz einer bestimmten räumlichen Nutzung, andererseits setzt er der räumlichen Nutzung auch Rahmenbedingungen und beeinflusst Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft in hohem Masse.

In der Folge soll zuerst erläutert werden, wie sich dieses heutige Verständnis des Zusammenspiels von Raum und Verkehr entwickelt hat und welche Problemstellungen dabei heute im Vordergrund der gesellschaftlichen, politischen und planerischen Diskussion stehen.

1.1.2 Ideengeschichte der Abstimmung von Siedlung und Verkehr

Die Geschichte der Abstimmung von Siedlung und Verkehr in der Schweiz beginnt mit dem Ideenwettbewerb zur Stadt Zürich und ihren Vororten im Jahr 1915. Im Zuge der Industrialisierung übten die Städte Ende des 19. Jahrhunderts einen immer grösseren Sog auf die ländlichen Gebiete aus. In den Vororten Zürichs – aufgrund der günstigen Stromversorgung vor allem entlang der Flussläufe der Limmat und der Glatt – entstanden darauf viele neue Produktionsbetriebe. Mit dem Aufkommen der Fliessbandproduktion boten diese Unternehmen auch ungelernten Arbeitskräften vom Lande Arbeit an, die sich in der Folge nahe bei diesen Fabriken ansiedelten. Diese Entwicklung führte zu drei neuen Problemen für die Vorortsgemeinden, die von verschiedenen Teams, vor allem aber von Albert Bodmer und Konrad Hippenmeier, im Rahmen des Ideenwettbewerbs intensiv diskutiert wurden (Huber und Koch, 1989):

- Das rasante Wachstum eines Industrieproletariats führte zu sozialen Problemen und zu einem hohen Investitionsbedarf seitens der Infrastruktur. Kleinere Gemeinden waren kaum in der Lage, diese Aufgaben alleine zu lösen.
- Die räumliche Nähe von Industrie- und Wohngebieten wurde allmählich als ungünstige Voraussetzung für die Gesundheit der Menschen erkannt. Entsprechend kam die Forderung nach einer räumlichen Trennung von Arbeits- und Wohngebieten auf.
- Diese räumliche Trennung bedingt zwingend ein leistungsfähiges Verkehrssystem, insbesondere auch im Vorortsbahnverkehr. Bodmer und Hippenmeier forderten beispielsweise vor bald hundert Jahren schon Durchmesserlinien für den Bahnverkehr, wie sie mit der S-Bahn 1990 schliesslich realisiert wurden.

Die räumliche Trennung von verschiedenen Nutzungen und menschlichen Aktivitäten war in dieser Phase also Kern einer modernen städtebaulichen Planung, der daraus entstehende Verkehr wurde nicht als Problem wahrgenommen, sondern es wurde nach rein technischen Lösungen gesucht, um den Verkehr zu bewältigen.

Die architektonische Moderne und die einsetzende Motorisierung breiter Bevölkerungsschichten prägten die städtebaulichen Leitbilder bis zum 2. Weltkrieg (Huber und Koch, 1989). Wachstums- und Fortschrittseuphorie schlugen sich in äusserst grosszügigen Bebauungsplänen nieder, die eine meist streng orthogonale, rein mathematisch begründete Struktur entlang leistungsfähiger Strassenachsen vorsah. Die Abstimmung von Siedlung und Verkehr war demnach weiterhin sehr einseitig: Die zur Realisierung der städtebaulichen Vision nötigen, aufgrund der Prognosen grosszügig dimensionierten

Verbindungen wurden vorbehaltlos in die städtebaulichen Entwürfe integriert. Die Verkehrswege wurden als integraler Bestandteil einer modernen Stadt akzeptiert, zum Teil wurden sie gar als Lebensadern der modernen Stadt begriffen.

Während des zweiten Weltkriegs fanden Ideen einer koordinierteren Planung des Raumes wieder ein etwas günstigeres Klima vor. Dabei standen Bedenken hinsichtlich der räumlichen Tragfähigkeit der baulichen Entwicklung im Vordergrund, zu deren Beseitigung die Landesplanung gestärkt werden sollte (Roth, 1944). Armin Meili konkretisierte in dieser Zeit seine vor dem Krieg entwickelten Ideen einer dezentralen Besiedlung des Landes (Meili, 1933), die noch heute in aktuellen Leitbildern der räumlichen Entwicklung der Schweiz nachklingen (ARE, 1996). Rudolf Steiger postulierte im Rahmen einer ETH-Tagung eine neue Prioritätensetzung in der räumlichen Planung (Steiger, 1943). Dabei sollten die Prioritäten weg von der uneingeschränkten Verfügbarkeit des Bodens und dem darauf aufbauenden Verkehrssystem hin zum Schutz des Landschaftsbildes und zur Gewährleistung von „menschlichen Wohnungen“ verschoben werden. Gerade diese letzte Arbeit zeigt allerdings deutlich, dass in dieser intensiven Diskussion die Abstimmung von Siedlung und Verkehr kaum thematisiert wurde. Die neuen Ansätze der Planer waren motiviert durch architektonisch-ästhetische Bedenken hinsichtlich der Qualität der Raumnutzung und durch grundsätzliche Zweifel an der Funktionsfähigkeit der Marktwirtschaft, die damals weit bis ins bürgerliche Lager verbreitet waren.

Die Vollmachtenregimes des Bundesrates im Rahmen der Kriegswirtschaft hatten am Ende des Krieges dennoch ein kurzes planungsfreundliches Zeitfenster aufgestossen. Die Abwehrhaltung gegenüber der kommunistischen Planwirtschaft mit dem Einsetzen des Kalten Krieges veränderte die Situation schnell wieder. Obwohl es sich bei den bekanntesten Vertretern einer starken Landesplanung um klar bürgerlich orientierte Persönlichkeiten handelte, wurden Ansätze einer koordinierten Planung nun sehr kritisch betrachtet, da sie als Vorreiter des Kollektivismus galten. Im beginnenden Wirtschaftswachstum erfuhr die Idee des Privateigentums eine Stärkung, während die staatliche Planung als wachstums- und föderalismusfeindlich galt. 1946 wurde der Gegenentwurf zur Verfassungsinitiative über eine nationale Gütertransportordnung verworfen. Die Initiative sah vor, dass der Bund den Güterverkehr mit motorisch betriebenen Transportmitteln nach rein volkswirtschaftlichen Grundsätzen organisieren sollte, der Ferngüterverkehr entsprechend schwerpunktmässig mit der Eisenbahn zu bewältigen sei. Die Ablehnung erstaunt insofern, als dass die Initiative vom Informationsdienst für den öffentlichen Verkehr (LITRA) getragen wurde, dem Vertreter aus Freisinnigen, Katholisch-Konservativen, Sozialdemokraten, Bürger-, Gewerbe- und Bauernpartei sowie Jungbauern angehörten, also aus allen politisch relevanten Gruppierungen

dieser Zeit. Am schweizerischen Juristentag 1947 lautete der Konsens, dass „die Zeit für ein eidgenössisches Landesplanungsrecht noch nicht gekommen ist; abgesehen davon, dass die technischen Grundlagen dafür noch nicht vorhanden sind, sprechen auch psychologische, staatsrechtliche und staatspolitische Bedenken gegen ein solches Bundesgesetz“ (Blanc, 1996). Folge dieser Haltung waren die beiden Bundesgerichtsentscheide zu Bauvorhaben in Uitikon und Seebach (BGE 74 I 147, BGE 77 I 211), die die Möglichkeiten der Landesplanung extrem beschnitten, da den kommunalen Behörden die Kompetenz verweigert wurde, aus Sicht der Raumordnung ungünstige Vorhaben zu verhindern. Im Zuge dieses Widerstandes gegen die Landesplanung geriet auch die Regionalplanung unter Druck. Bis 1960 nahm die Landes- und Regionalplanung in der öffentlichen Diskussion eine marginale Position ein, Planung wurde allein auf kommunaler Ebene betrieben. In diesem Klima ist die Form der Abstimmung von Siedlung und Verkehr einseitig gerichtet: Die Standortentscheidungen waren Privatsache, der Staat hatte die nötige Infrastruktur bedarfsgerecht zu erstellen, im Sinne einer „autogerechten Stadt“ insbesondere auch ein leistungsfähiges Strassennetz. Nicht zufällig fallen in diese Zeit auch die Planung eines Nationalstrassennetzes und die Annahme des entsprechenden Verfassungsartikels (BV 36bis und 36ter). Da sich zudem die Planer praktisch ausschliesslich mit der Gemeindeebene beschäftigten, blieben die negativen Auswirkungen des wachsenden Verkehrsaufkommens in und zwischen den Ballungsräumen lange ein in einer breiten Öffentlichkeit wenig registriertes Problem.

In den 1960er Jahren wurde der Ruf nach einer geordneten Planung des Raumes wieder lauter, allerdings in erster Linie vor dem Hintergrund der akuten Wohnungsnot. Erst mit den Leitbildern des ORL 1971 tritt die überregionale Sicht auf die Raumordnung zumindest in wissenschaftlichen Arbeiten wieder stärker in den Vordergrund. Basierend auf diesem Projekt erarbeiten Chefbeamte des Bundes das Siedlungsleitbild CK-73. Darin wird erstmals überhaupt in der Schweiz ein übergeordnetes Konzept für die Besiedlung des Landes entwickelt. Mit der Formulierung einer Zielvorstellung für die Raumordnung ist – unabhängig von der tatsächlichen Festlegung selbst – eine unabdingbare Voraussetzung für die Abstimmung von Siedlungs- und Verkehrsplanung geschaffen. Trotz dieser an sich guten Grundlagen auf nationaler Ebene wird 1977 der Zürcher kantonale Gesamtplan ohne raumordnerisches Leitbild verabschiedet. Vergeblich wiesen Fachleute darauf hin, dass ein Gesamtplan ohne Leitbild zu einer reinen Trendfortschreibung in der Planung führe (Roth et al., 1980).

Paradoxerweise brachten die Oelkrise in den 1970er Jahren und die erstarkende Umweltschutzbewegung keine Steigerung des Verständnisses für die Abstimmung von

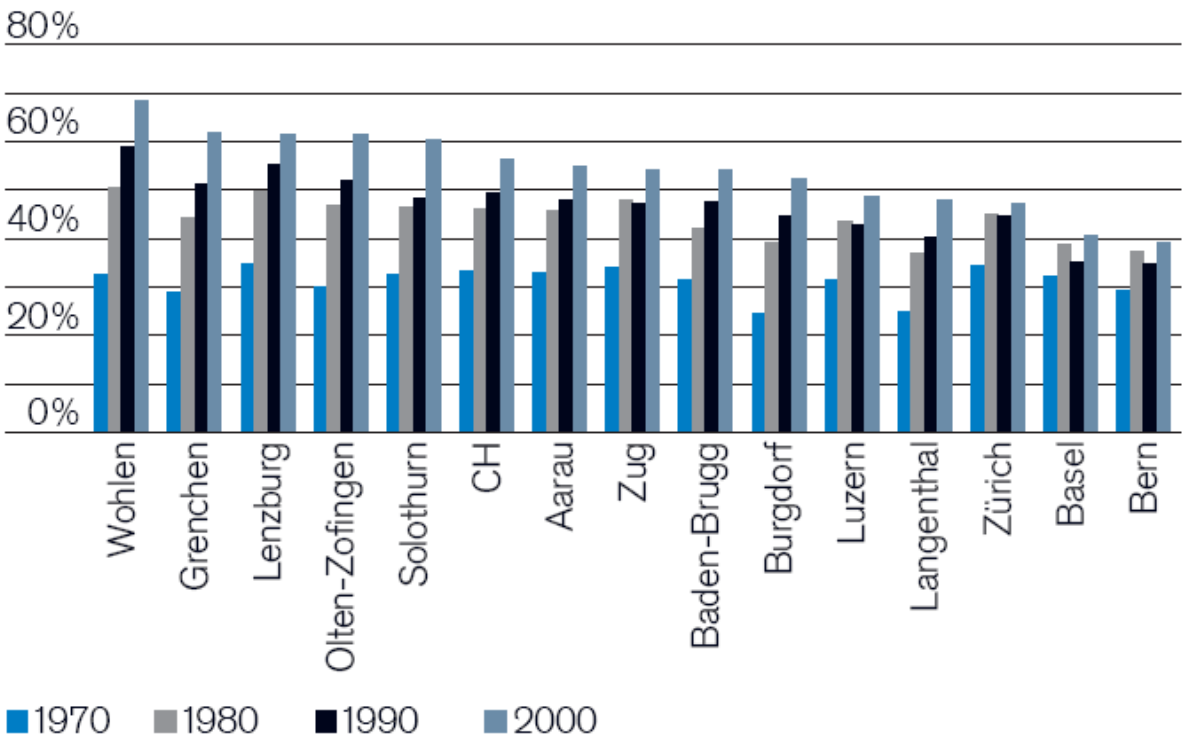
Siedlung und Verkehr in der öffentlichen Diskussion. Die Diskussion um die negativen Auswirkungen führte zuerst zu einzelnen, sehr öffentlichkeitswirksamen Reaktionen (Autofreie Sonntage, etc.), wird allerdings nach dem ersten Schock und nach der Relativierung einiger sehr pessimistischer Szenarien (z.B. Waldsterben) bis heute entlang relativ harter Konfliktlinien ausgetragen, was kaum eine differenzierte planerische Beurteilung zulässt: Die Wahl des „richtigen“ Verkehrsmittels als zentrale Fragestellung wird dogmatisch diskutiert, der Zusammenhang zwischen räumlichen Strukturen und Mobilitätsverhalten wird in der öffentlichen Diskussion wenig wahrgenommen. Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass auch in den seither entwickelten Anwendungen von Verkehrsmodellen meist zwei getrennte Teilmodelle für Zielwahl und Verkehrsmittelwahl angewendet wurden, mithin eine Wechselwirkung zwischen den differierenden Erreichbarkeiten von öffentlichem (ÖV) und motorisiertem Individualverkehr (MIV) auf das Zielwahlverhalten des Individuums (und damit auf die erzeugte Verkehrsleistung) negiert wurde. Mit der einsetzenden Rezession der 90er Jahre und einer erstarkenden neoliberalen Strömung in der Politik sinkt die Akzeptanz für eine staatlich geordnete Besiedlung des Landes noch einmal deutlich.

In der jüngeren Vergangenheit wurde die Lösung der beschriebenen Problemstellungen deshalb wieder in einer rein sektoralen, nachfrageorientierten Verkehrsplanung gesehen. Es wurde – und wird auch heute noch – von einer politischen Mehrheit postuliert, dass die Kapazitätsprobleme mit dem Ausbau der Verkehrsnetze gelöst werden können, während die negativen Auswirkungen insbesondere des motorisierten Verkehrs durch technische Innovation – vor allem bei der Fahrzeugtechnik – drastisch reduziert werden. Die Strategie ist dabei zweigleisig: Einerseits soll die Mobilität möglichst uneingeschränkt sein, um die wirtschaftliche Stärke der Schweiz nicht zu gefährden. Andererseits sind sich weite Teile der Bevölkerung der Schattenseiten der Mobilität bewusst, überlassen es aber der Technik und allenfalls dem Staat, sich dieser Problematik anzunehmen. Beispiele für den Ausbau der Verkehrsnetze sind die Fertigstellung sowie Kapazitätserweiterungen des Nationalstrassennetzes, aber auch der Ausbau des Bahnnetzes (NEAT, Bahn 2000), welcher einerseits die Erreichbarkeit aller Regionen des Landes verbessern soll, andererseits aber auch als umweltpolitisch motiviertes Korrektiv zu den Ausbauten im Strassennetz gesehen werden kann.

Die Erfahrungen der letzten Jahre haben allerdings gezeigt, dass die Wirkung dieser Lösungsansätze beschränkt ist: Der Ausbau der Infrastrukturen und die damit einhergehende Reduktion der Reisezeiten hat zu einer Vergrösserung der Distanzen und damit zu einer Erhöhung der Gesamtverkehrsleistung geführt, was einen ansehnlichen Teil der

Kapazitätssteigerungen im Netz wieder kompensiert hat. Das Verkehrswachstum verteilte sich dabei je nach Raumstruktur sehr unterschiedlich auf die Verkehrsmittel: Die Entwicklung des MIV-Anteils am gesamten Pendlerverkehr gemäss Abbildung 3 zeigt, dass in den Ballungszentren Zürich, Basel und Bern seit 1980 praktisch eine Stagnation auf mittlerem Niveau festzustellen ist, während gleichzeitig der Anteil der MIV-Pendler aus den Zentren des Mittellandes und deren sub- und periurbanem Umland stark zugenommen hat.

Abbildung 3 MIV-Anteil am Pendlerverkehr



Quelle: Neue Aargauer Bank, 2006

Gesamtwirtschaftlich gesehen mag die Erhöhung der Reichweite jedes Einzelnen einen beträchtlichen Nutzen nach sich ziehen, da dadurch mehr Wirtschaftssubjekte in die wertschöpfungsintensiven Zentren gelangen und damit die Wirtschaftsleistung steigern. In den Vereinigten Staaten hat zudem eine Studie ergeben, dass im Zeithorizont zwischen 1969-1986 die öffentlichen Ausgaben für den Ausbau der Transportinfrastruktur die Arbeitsproduktivität signifikant erhöht haben: Öffentlichen Ausgaben für Infrastrukturen von 10 Mia $ haben das Privatkapital demnach um rund 2 Mia $ vergrössert (Aschauer, 1989). Abbildung 3 zeigt aber, dass sich die Verkehrsleistungen für die verschiedenen

Verkehrsmittel je nach Gebiet in der Schweiz sehr unterschiedlich entwickeln: Während in den Gebieten nahe der grossen Zentren der öffentliche Verkehr aufgrund der dichten Besiedlung eine gute Marktposition einnimmt, ist er gegenüber dem motorisierten Verkehr in den schwächer besiedelten periurbanen Gebieten oft deutlich unterlegen. Aus dem überdurchschnittlichen MIV-Aufkommen dieser Gebiete resultieren andererseits in den Ballungszentren, die überdurchschnittlich häufig Ziel der beschriebenen Pendlerfahrten sind, Zentrumslasten in Form von Immissionen und Kapazitätsengpässen. Die Erhöhung der Reichweite bedeutet demnach auch eine Entfernung vom Verursacherprinzip bei der Finanzierung der Mobilitätslasten , was aus volkswirtschaftlicher Sicht kritisch zu werten ist.

Die Reduktion der Mobilitätslasten soll – wie bereits erwähnt – über technische Innovation erreicht werden: Gemäss Vereinbarung des UVEK mit dem Branchenverband auto-schweiz soll der spezifische Treibstoffverbrauch für Neuwagen von 2000 bis 2008 um jährlich 3% reduziert werden. Bis 2005 wurden nur rund 1.5% Reduktion pro Jahr erreicht, obwohl die Anstrengungen in der Motorentechnologie im Prinzip zur Erreichung des Ziels ausgereicht hätten. Von 2000 bis 2005 ist das durchschnittliche Leergewicht eines Neuwagens in der Schweiz nämlich gleichzeitig von 1360 auf 1475 kg gestiegen. Da 100 kg zusätzliches Leergewicht einem zusätzlichen Treibstoffverbrauch von 0.5 Liter je 100 km entsprechen, hat sich der Treibstoffverbrauch durch das zusätzliche Gewicht der Fahrzeugflotte in diesem Zeitraum um rund 0.6 Liter je 100 km erhöht. Die Reduktion des spezifischen Treibstoffverbrauchs durch die – tatsächlich erfolgte – technische Innovation bei den Fahrzeugen wurde demnach durch den Trend zu grösseren Fahrzeugen halbiert.

Die rein verkehrstechnische Lösung scheint deshalb nicht geeignet zu sein, um die Verkehrsprobleme nachhaltig lösen zu können (Kutter, 2002). Dabei spielt die Frage der Verkehrsmittelwahl noch nicht mal die grosse Rolle, die ihr in teilweise beigemessen wird: Angesichts der immer schneller verkehrenden Züge in der Schweiz (Bahn 2000, NEAT) steigt aufgrund des exponential ansteigenden Luftwiderstandes auch der Stromverbrauch überproportional an. Währen ein Zugpersonenkilometer durchschnittlich einen Drittel des Energieverbrauchs eines Personenwagenkilometers verursacht, erreicht ein Personenkilometer in einem Hochgeschwindigkeitszug mit 320 km/h etwa denselben Verbrauchswert wie der eines Kilometers in einem sparsamen Kleinwagen (De Haan und Scholz, 2006). Zudem hat zum Beispiel die Zürcher S-Bahn gemäss einer Ex-post-Analyse zu ihrer räumlichen Wirkung (Synergo, 2004) zwar den ÖV-Anschluss der Gemeinden mit S-Bahn-Station verbessert und die S-Bahn als Verkehrssystem ist eine eigentliche Erfolgsgeschichte. In peripheren Gemeinden ist der ÖV-Anteil dennoch gering geblieben, weil die Entwicklung des Strassennetzes und der Motorisierung vorausgegangen ist und der Individualverkehr zudem in

peripheren Gebieten deutliche Wettbewerbsvorteile gegenüber dem öffentlichen Verkehr aufweist. Dadurch konnte durch das Verkehrssystem auch keine hemmende Wirkung gegen Zersiedlungstendenzen bzw. eine Verdichtungstendenz entfaltet werden.

In verschiedenen Publikationen in den letzten Jahren (Axhausen et al., 2003; Boarnet und Crane, 2001; Kutter, 2002) wird aus diesen Gründen dem raumplanerischen Aspekt der Problematik wieder mehr Beachtung beigemessen. Während also die Frage, in welcher Art die räumliche Struktur – also die Summe der Standortentscheidungen von Privaten und Firmen – die entstehende Verkehrsnachfrage beeinflusst, im weiten Feld der Verkehrsmodellierung bereits umfassend untersucht ist (z.B. ARE, 2006), wird in diesen Arbeiten der Frage nachgegangen, zu welcher Siedlungsentwicklung eine Veränderung der Erreichbarkeit der Standorte führt. Das Wissen um diesen Zusammenhang soll es in der Zukunft erlauben, einen kombinierten Zugang von angebots- und nachfrageorientierten Massnahmen sowohl in der Siedlungs- wie in der Verkehrsplanung zu finden.

Auch wenn die Abstimmung ein vielfach genanntes Thema in der Raumplanung der Schweiz darstellt, fehlte es in der Praxis der Vergangenheit an einer griffigen Umsetzung, insbesondere auf den tieferen föderalistischen Ebenen. Das mehrstufige Schweizer Staatssystem ermöglicht Konkurrenz zwischen den Gemeinwesen, verhinderte allerdings im Gegenzug in der Vergangenheit auch immer eine koordinierte Landesplanung, die für eine griffige Abstimmung von Siedlung und Verkehr wohl unabdingbar wäre. In der Lehre und der Forschung wurde das Thema je nach aktueller Planungsphilosophie mal detaillierter und präziser, mal oberflächlicher bearbeitet. Dabei fehlt es nicht an Problemen, die mit diesem Thema verbunden sind. In der Folge sollen einige davon kurz beleuchtet und erläutert werden.

1.1.3 Problemstellungen im Spannungsfeld von Raum und Verkehr

Anlässe zu einer vertieften Untersuchung der räumlichen Wirkung des Infrastrukturausbaus sind heute zahlreich vorhanden. Nachstehend sollen einige typische Problemstellungen ohne Anspruch auf Vollständigkeit aufgeführt werden.

Die zunehmende räumliche Mobilität von Privaten und Unternehmen führt bei Veränderung der Erreichbarkeit insbesondere bei Verkehrszwecken mit harten Randsummenbedingungen (z.B. Pendler- und Ausbildungsverkehr, vgl. Vrtic et al., 2005a) meist zu einer Zunahme der Mobilität: Angesichts der übrigen, sehr starken Einflussgrössen auf die Standortentscheidungen bzw. die Umzugswahrscheinlichkeit (vor allem bei Hauseigentümern sowie bei Haushalten mit relativ tiefem oder sehr hohem Einkommen) und der in der Vergangenheit stark gesunkenen Mobilitätskosten wird die Wohnortwahl nach erfolgter Lageänderung des Arbeitsortes häufig nicht angepasst, bzw. die Standortentscheidung bei einem Umzug erfolgt unabhängig von der Distanz zum Arbeitsort. In den letzten Jahren hat gemäss Bundeamt für Statistik, 2007 die Wohnbautätigkeit vor allem in den Gemeinden mit weniger als 2000 Einwohnern stark zugenommen, während sie gleichzeitig in den Gemeinden mit mehr als 10'000 Einwohnern stagniert oder gar abnimmt. Das Siedlungswachstum findet demnach immer mehr in kleineren Gemeinden in peripheren Lagen zu. Da gleichzeitig die Arbeitsorte nahe der grossen Zentren liegen, steigt die Verkehrsleistung immer mehr.

Die energetischen Auswirkungen der zunehmenden Verkehrsleistung lassen sich am Endergieverbrauch für die verschiedenen Gemeindetypen gemäss Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) und ausgewählte Verkehrszwecke aufzeigen, wie er vor kurzem im Auftrag des Bundesamtes für Energie analysiert wurde (Ott et al., 2006). Besonders hohe Werte erreichen demnach Kleinzentren wie auch touristische Gemeinden, aber auch bei semiagrarischen und agrarischen sowie tertiären und industriellen Gemeinden ist der Energieverbrauch des wohnungsabhängigen Verkehrs sehr hoch. Eine vertiefte Analyse der Gründe für den höheren Energieverbrauch der erwähnten Gemeindetypen zeigt, dass in gewissem Masse das Verkehrsaufkommen, vor allem aber die Wegelänge und die Verkehrsmittelwahl (geringerer ÖV-Anteil) zum höheren Energieverbrauch beitragen. Unabhängig vom Gemeindetyp macht der Freizeitverkehr den mit Abstand grössten Teil des Verkehrsaufkommens aus, gefolgt vom Pendlerverkehr, dessen spezifische Leistung wie erwartet mit Distanz zu den grossen Zentren kontinuierlich zunimmt. Erstaunlicherweise ist dabei der Energieverbrauch durch den Pendlerverkehr in (nichtstädtischen) Wegpendlergemeinden tiefer als zum Beispiel in Kleinzentren, was vermutlich auf die

ausgezeichnete ÖV-Anbindung der grossen Zentren als Zielen der Wegpendler zurückzuführen ist.

Tabelle 1 Spezifischer Endergieverbrauch für wohnungsabhängigen Verkehr

Werte in kWh pro Person und Jahr	Pendlerverkehr	Einkaufsverkehr	Freizeitverkehr	Alle Zwecke
Grosszentren	664	204	1004	2113
Nebenzentren der Grosszentren	1123	458	1877	4018
Innerer Gürtel der Grosszentren-Agglomerationen	1117	462	1861	3899
Äusserer Gürtel der Grosszentren-Agglomerationen	1598	561	2099	4792
Mittelzentren	1781	538	2960	6182
Innerer Gürtel der weiteren Agglomerationen	1816	796	2831	6387
Äusserer Gürtel der weiteren Agglomerationen	1910	933	2762	6286
Kleinzentren	2256	756	3406	7931
Wegpendlergemeinden	2071	786	2835	6500
Industrielle und tertiäre Gemeinden	2427	814	3266	7643
Semiagrarische Gemeinden	2438	1015	3174	7508
Agrarische Gemeinden	1274	1487	3664	7480
Touristische Gemeinden	2436	1240	4190	8652
Alle Gemeinden	1604	631	2417	5360

Quellen: Ott et al., 2006

Die sinkenden Mobilitätskosten und die Verbesserung der Erreichbarkeit führen zu verstärktem Siedlungsdruck in peripheren Gebieten. Dadurch profitieren diese Gemeinden einerseits von zusätzlichen Steuereinnahmen, andererseits steigen häufig die Ausgaben für Infrastrukturen der Gemeinde (Strassen, Werke, Schulen, Sportstätten, Sozialausgaben) ebenfalls (vgl. ARE, 2000). Besonders angesichts der hohen Dynamik der Entwicklung in den

letzten Jahren stellt dieses Wachstum viele Gemeinden vor äusserst schwierige Entscheidungen: Um das erhoffte oder befürchtete Wachstum bewältigen zu können, müssen bereits heute zum Teil sehr langfristige Investitionsentscheide für eine zukünftige und schwer abschätzbare Gemeindegrösse getroffen werden. Aus Sicht der ökonomischen Nachhaltigkeit stellt sich zudem angesichts des insgesamt nachlassenden Bevölkerungswachstums der Schweiz (Bundesamt für Statistik, 2006a) die Frage, ob sich die hohen Infrastrukturinvestitionen langfristig auszahlen oder ob die heute durch den Siedlungsdruck getriebenen Investitionen im Zuge einer zu erwartenden Plafonierung der Bevölkerungszahlen in den nächsten dreissig bis fünfzig Jahren Überkapazitäten einst darstellen werden.

Neben der durch die steigende Distanz zwischen Wohn- und Arbeitsort wachsenden Pendlermobilität nimmt der Einkaufs- und Freizeitverkehr ebenfalls stetig zu. Die Planung neuer publikumsintensiver Einrichtungen (Einkaufszentren und Freizeitparks) hat in den letzten Jahren deshalb zu kontroversen Diskussionen geführt. Im Zentrum stand dabei eine Frage: Ist es sinnvoller, wenn ein Investor seine Standortentscheidung im Sinne der Wirtschaftsfreiheit uneingeschränkt selber trifft, während der Staat anschliessend Massnahmen vorsieht, die zur Bewältigung der induzierten Verkehrsnachfrage beitragen, oder soll der Staat im Sinne einer antizipierenden und integrierten Planung als Vertreter der Allgemeinheit die Standortwahl einschränken, um eine unerwünschte Verkehrsnachfrage und deren negative Folgen ursächlich zu verhindern? Um das zu beantworten muss der Zusammenhang zwischen räumlicher Struktur und Einkaufsverkehr genauer analysiert werden.

Gemäss einer Sonderauswertung des Mikrozensus 2000 werden von Konsumenten dann überdurchschnittlich häufig Einkaufsfahrten in publikumsintensive Einrichtungen und grosse Zentren unternommen, wenn die Versorgungssituation mit Gütern des täglichen Gebrauchs in der Nähe des Wohnortes besonders tief liegt. Während in den grossen Zentren der ÖV-Anteil am Einkaufsverkehr allerdings mehr als 50% erreicht, liegt dieser Wert bei Einkaufszentren mit 5% deutlich tiefer (ARE, 2006). Andererseits kann die wachsende Zahl von Einkaufs- und Freizeitnutzungen in grossen Einrichtungen auch mit dem Gedankenmodell aus Abbildung 1 erklärt werden: Durch die erzielbaren Skalengewinne können die Produkte günstiger angeboten und somit das Marktgebiet vergrössert werden. Als Folge davon geraten Alternativangebote in schwächer besiedelten ländlichen Gebieten immer mehr unter Druck, was zu einer Ausdünnung des Angebotes an Versorgungsdienstleistungen in diesen Gebieten führt (Marti, 2006).

Tabelle 2 Veränderung der Distanzen zu Versorgungseinrichtungen *1990 - 2000*

Typ der Versorgungseinrichtung	Ganze Schweiz	Ländlicher Raum
Banken	+ 1.5%	+ 5.0%
Post	+ 2.0%	+ 3.0%
Kleinere Lebensmittelgeschäfte	+ 8.0%	+ 13.0%

Quelle: Marti 2006

Verlagern sich die Konsumaktivitäten also aufgrund einer tiefen Versorgung mit Einkaufseinrichtungen in Zentren und Einrichtungen mit grosser Ausstrahlung, wird die Verkehrsleistung des Einkaufsverkehrs deutlich erhöht. Verläuft diese Verlagerung vor allem in Richtung der Einkaufszentren, nimmt zudem der motorisierte Verkehr deutlich stärker zu als der öffentliche Verkehr. Dieser Effekt wird dadurch verstärkt, dass die verbleibenden Versorgungseinrichtungen zusätzlich unter Druck geraten und teilweise aufgeben müssen, was die Unterversorgung und damit den Sog in Richtung publikumsintensive Einrichtungen und grosse Zentren weiter verstärkt.

Die beschriebenen Problemfelder sind durchaus erkannt und in Politik, Planung und Forschung werden verschiedene Gegenmassnahmen diskutiert. Unbestritten ist, dass eine restriktivere Begrenzung der Bauzonenkapazitäten für Wohngebiete in ländlicheren Gemeinden und die zurückhaltendere Bewilligung von publikumsintensiven Einrichtungen an peripheren Lagen die Verkehrsleistung senken würden, da sie die bestimmende Grösse der Fahrleistung, die Distanz zwischen menschlichen Aktivitäten, ursächlich verringern. Aus ordnungs- und wirtschaftspolitischen Gründen werden solche Massnahmen allerdings kaum von einer Mehrheit befürwortet, die übermässige Eingriffe in die Wirtschaftsfreiheit und negative Auswirkungen für die Wirtschaft befürchten. Im Vordergrund stehen deshalb Mechanismen, die neue Anreize schaffen und so den Nutzen von raum- und verkehrsplanerisch sinnvollem Handeln erhöhen, zum Beispiel:

- Anreize zur Förderung des Anteils umweltschonender Verkehrsarten (Parkplatzbewirtschaftung bei publikumsintensiven Einrichtungen, Mobility Pricing, Subventionen ÖV)
- Anreize zur Förderung einer nachhaltigeren Siedlungsentwicklung mit weniger Flächenverbrauch und Zwangsmobilität (Gestaltungspläne mit Ausnützungsboni in Zentrumsgebieten, Entwicklungsgebiete mit guter Nutzungsdurchmischung in Bahnhofsnähe)

Obwohl diese und weitere Massnahmen seit einigen Jahren an vielen Orten in der Schweiz umgesetzt werden, wachsen die Siedlungsgebiete in peripheren Lagen meist immer noch stärker als in den Zentren und die ungleichmässige Verteilung von Versorgungseinrichtungen nimmt immer noch zu. Die beschriebenen Anreize werden demnach überkompensiert durch die Vorteile, die periphere Lagen bei anderen Nutzenkomponenten aufweisen. Einerseits spielen dabei sicher Landpreise und „weiche“ Faktoren (Soziodemographische Umgebung, Naturnähe) eine grosse Rolle. Aufgrund verschiedener Arbeiten der letzten Jahre (Bürgle, 2006; Möckel, 2007) kann andererseits auch davon ausgegangen werden, dass die Erreichbarkeit eine bedeutende Rolle bei der Standortwahl von Privaten und Unternehmen spielt. Die Erreichbarkeit peripherer Gebiete wurde dabei gegenüber den Zentren in der Vergangenheit durch zwei Effekte überproportional erhöht:

- Der flächige Ausbau der Infrastrukturen (National- und Hauptstrassennetz, S-Bahn-Netze, Bahn 2000) hat den Anschluss peripherer Gebiete an die übrigen Gebiete deutlich verbessert.

- Durch die gestiegene Mobilität wurden die Kapazitätsengpässe im Nahbereich und innerhalb der Zentren, welche den Binnenverkehr sehr stark betreffen, verschärft. Ein grosser Teil der Fahrleistung des Ziel-/Quellverkehrs erfolgt dagegen auf den weitgehend schwach bis mittel belasteten Netzteilen in der Peripherie, die Abschnitte auf den auch durch eben diesen Ziel-/Quellverkehr hochbelasteten Netzen der Zentren machen davon nur einen relativ geringen Anteil aus.

Um die Auswirkungen der Erreichbarkeitsveränderungen auf die räumliche Struktur beschreiben zu können, können mathematische Modelle einen prinzipiell zielführenden Ansatz darstellen. Nur wenn es gelingt, den weit entwickelten Verkehrsmodellen zur Beschreibung der Mobilität quantitative Analysen und Modelle zur Raumnutzung und zur Standortwahl gegenüber zu stellen, ist eine gesamtheitliche Analyse des Zusammenspiels von Raum und Verkehr möglich.

1.2 Modellierung von Standortentscheidungen

1.2.1 Stand von Politik und Forschung

In den meisten gültigen raumplanerischen Grundlagen des Bundes und der Kantone wird die Analyse und Koordination der Wechselwirkungen von Raum und Verkehr gefordert (ARV, 2003; ARE, 1996). Wie erwähnt kommt die Planung diesem Postulat in der Praxis nur einseitig nach: Während die Auswirkungen der prognostizierten Siedlungsentwicklung auf die Verkehrssituation mittels Entscheidungsmodellen analysiert und darauf basierend Ergänzungen der Verkehrsnetze projektiert werden, fehlen im allgemeinen Untersuchungen zu den Konsequenzen ebendieser Infrastrukturausbauten auf die Siedlungsentwicklung, obwohl analoge Entscheidungsmodelle für die Raumnutzung seit den 1970er Jahren insbesondere in den USA entwickelt wurden und heute auch Anwendung finden. Die räumliche Verteilung von Privaten und Firmen wird in der Schweiz – und auch in den meisten anderen europäischen Ländern – bei der Planung als konstant angenommen. Dies ist umso erstaunlicher, als dass Befragungen zeigen, dass die Erreichbarkeit bei der Standortwahl eine bedeutende Rolle spielt (Bodenmann, 2006). Ein wichtiger Grund für das bisherige Fehlen solcher Modelle scheinen das Ausmass der für eine ausreichende Erklärungskraft nötigen Grundlagendaten beziehungsweise die relativ hohen Kosten zu deren Beschaffung darzustellen, ein Problem, das bereits bei der ersten Generation von Flächennutzungsmodellen festgestellt wurde (Lee, 1973). Zudem haben verschiedene Forscher nach der Entwicklung der Chaostheorie in den 1980er Jahren Zweifel geäussert, ob die Prognostizierung allzu komplexer Entscheidungssituationen und Systemzustände überhaupt möglich sei, wenn selbst kleine Ursachen zu grossen und unerwarteten Wirkungen führen können (Sieverts und Ganser, 1993). Die stabile Modellierung von räumlichen Entscheidsprozessen scheint also vor allem dann erfolgsversprechend, wenn möglichst wenige, massgebende und robuste Variablen einbezogen werden.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Zukunft urbane Kulturlandschaften“ des Netzwerkes Stadt und Landschaft (NSL) an der ETH Zürich wurde im Rahmen des Teilprojektes „Infrastruktur, Erreichbarkeit und Raumentwicklung“ das integrierte Flächennutzungsmodell UrbanSim für den Grossraum Zürich implementiert (Löchl et al., 2007). Damit soll die beschriebene Lücke in der Analyse der Wechselwirkungen von Siedlung und Verkehr in der Schweiz geschlossen werden.

UrbanSim wurde an die speziellen Gegebenheiten des Grossraums Zürich angepasst und mit dem Verkehrsmodell des Kantons Zürich gekoppelt. Im Rahmen des Projektes wurden alle für

die Anwendung im Grossraum Zürich notwendigen Datengrundlagen geschaffen, gesammelt und aufbereitet. Dazu gehören flächendeckende, hektarscharfe Daten beispielsweise zu Bevölkerung, Arbeitsplätzen und Gebäudeflächen genauso wie die Parameterschätzungen für die Entscheidungsmodelle. Auf dieser Grundlage können in zukünftigen Projekten vielfältige Analysen sowie Wirkungsabschätzungen im Rahmen von Alternativenvergleichen vorgenommen werden, beispielsweise zur Wirkung neuer, aus- oder rückgebauter Strassen auf die Siedlungsentwicklung. Auch Tests der Auswirkungen von Szenarien wie der verstärkten oder restriktiven Neuausweisung von Bauland oder die Wirkung einer Politik der Nachverdichtung auf die Standortentscheidungen von Haushalten und Unternehmen sind möglich.

1.2.2 Funktionalität von UrbanSim

Die Simulationssoftware UrbanSim wurde für die Implementierung eines Flächennutzungsmodells gemäss Löchl et al., 2007 aus mehreren Gründen ausgewählt: Der Funktionsumfang und die Detailschärfe des Modells aber auch seine Implementierung können als fortschrittlich betrachtet werden. Ausserdem gibt es bereits verschiedene Anwendungsfälle und eine ausführliche Dokumentation, die auch online verfügbar ist (CUSPA, 2007). Ferner ist UrbanSim kein kommerzielles Produkt, sondern läuft unter der GNU General Public License (Free Software Foundation, 1991) und ist somit frei und kostenlos verfügbar.

Grundlage der Flächennutzungsmodellierung mit UrbanSim ist die Abbildung der Entscheidungen einzelner, in Beziehung zueinander stehender Akteure. Auch wenn Einzelpersonen in der Standardanwendung noch zu Haushalten aggregiert sind, kann von einer Mikrosimulation gesprochen werden.

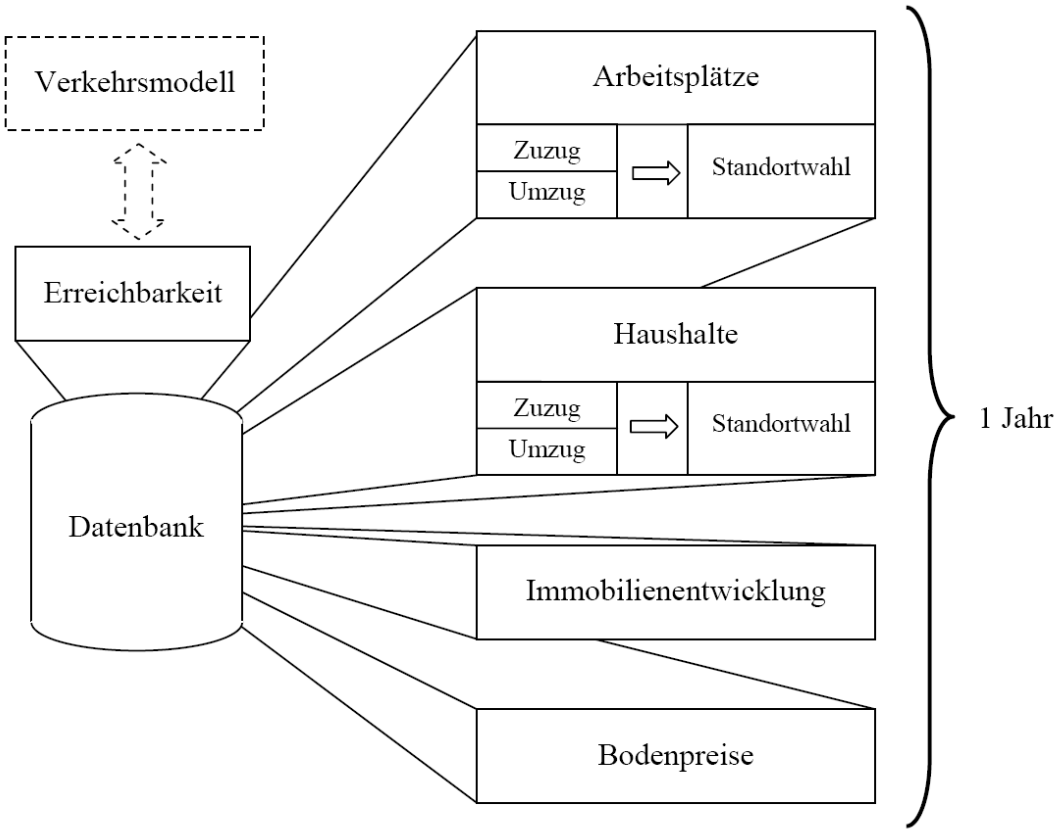
UrbanSim besteht aus verschiedenen Teilmodellen, die die zur Berechnung notwendigen Variablen aus einer zentralen Datenbank auslesen. In dieser Datenbank sind Verkehrsangebot des Basisjahres, soziodemographische Eckdaten und Entwicklungsszenarien für zukünftige Jahre sowie Modellspezifikationen abgelegt. Die Modelle aktualisieren nach jedem Berechnungsschritt die Datenbank mit ihren Ergebnissen und die aktualisierte Datenbank stellt jeweils die Grundlage für die Berechnung des nächsten Modells dar. Dieser Ablauf wiederholt sich zyklisch mit einem Durchlauf aller Modelle für jedes simulierte Jahr. (vgl. Abbildung 4).

UrbanSim modelliert die einzelnen Standortentscheidungen, indem die wechselnde Verortung von Nutzungen in drei Stufen simuliert wird: In einem ersten Schritt wird der Zuzug in die

Region als Differenz aus bestehendem Angebot und Output des letzten Simulationsschrittes ermittelt. In einem zweiten Schritt werden für die nicht ortsfesten Nutzungen (Arbeitsplätze und Haushalte) die wahrscheinlichen Umzüger prognostiziert. Die Summe dieser beiden ersten Schritte bilden die Gruppe derjenigen Privaten und Unternehmen, die im Jahr i eine Standortentscheidung fällen müssen. In einem dritten Schritt werden diese Standortentscheidungen aufgrund diskreter Entscheidungsmodelle beschrieben, die auf die Attribute der einzelnen Standorte und auf die Ergebnisse der Teilmodelle aller früheren Simulationsperioden zugreifen.

In diesem Ablauf nimmt das Erreichbarkeitsmodell, das im Rahmen der vorliegenden Arbeit vor allem behandelt wird, eine Sonderstellung ein: Basierend auf den jeweils aktuellen Flächennutzungsdaten werden in zyklischen, mehrjährigen Abständen die Erreichbarkeiten der verschiedenen Gebiete bestimmt.

Abbildung 4 Funktionsprinzip UrbanSim



Quelle: Löchl et al., 2007

1.3 Aufgabenstellung und Randbedingungen

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird im beschriebenen Raumnutzungsmodell der Einfluss von Erreichbarkeitsveränderungen durch Infrastruktur- und Angebotsausbauten auf die Siedlungsstruktur im Grossraum Zürich untersucht.

Mit der vorliegenden Arbeit sollen die folgenden Problemstellungen analysiert werden:

- Wie sensitiv reagiert das Flächennutzungsmodell UrbanSim auf die im Verkehrsmodell ermittelten Erreichbarkeitsveränderungen?
- Wie gross ist der Einfluss der intermodalen Erreichbarkeit einer Zone auf ihre Siedlungsentwicklung?
- Welchen Einfluss hat das Verhältnis der Erreichbarkeiten von MIV und ÖV auf die Siedlungsentwicklung?
- Welchen Einfluss hat die durch eine bestimmte Erreichbarkeit induzierte Siedlungsentwicklung auf die spezifische Verkehrsleistung und die Verkehrsmittelwahl?
- Wie sind die verschiedenen induzierten Siedlungsentwicklungen hinsichtlich der raumplanerischen Ziele von Bund und Kantonen zu beurteilen?

Die Wahl der betrachteten Zeithorizonte basiert auf zwei Überlegungen: Einerseits werden aus praktischen Gründen Horizonte gewählt, zu denen die erforderlichen demographischen Ausgangsprognosen (BfS, 2006b; Statistisches Amt des Kantons Zürich, 2006) bereits verfügbar sind. Andererseits sind Horizontabstände unter zehn Jahren angesichts der inhärenten Prognoseungenauigkeit und der Trägheit der Wechselwirkungen zwischen Siedlung und Verkehr kaum sinnvoll. Daher werden die drei Horizonte 2010, 2020 und 2030 gewählt. Für die beiden Horizonte 2010 und 2020 werden verschiedene Netzzustände (Angebotsszenarien) mit unterschiedlichen Angebotselementen für MIV und ÖV modelliert.

Geographisch richtet sich die Abgrenzung nach derjenigen der UrbanSim-Anwendung und umfasst die Grossräume Zürich, Winterthur und Wetzikon gemäss Abbildung 5. Nicht im Perimeter liegen das Weinland und das Oberland sowie einzelne Gemeinden im Gebiet Albis / Knonauer Amt.

Für den Langsamverkehr sind im Kanton Zürich wenige Angebotselemente vorgesehen, die eine Veränderung der Erreichbarkeit über die Zonengrenzen hinaus bewirken könnten. Nichtsdestotrotz kann die Qualität des Langsamverkehrsnetzes im Kurzdistanzbereich einen

gewichtigen Einfluss auf die Ziel- und Verkehrsmittelwahl haben, insbesondere in urbanen Gebieten. Die Analyse der Wirkung von Langsamverkehrsausbauten (v.a. im Fussverkehr) mit dem Mittel von Umlegungsmodellen ist allerdings bis jetzt kaum erprobt, da die realitätsnahe Modellierung der Ziel- und Verkehrsmittelwahl für eine gewisse Nachfrage unter Berücksichtigung des Langsamverkehrs die Integration einer Reihe von qualitativen Parametern (z.B. Aufenthaltsqualität, subjektives Sicherheitsgefühl, etc.) bedingen würde. Die Beschreibung dieser Entscheidungsparameter ist im Rahmen einer SP-Befragung bis heute noch nie durchgeführt worden. Aus diesen Gründen werden in den einzelnen Netzzuständen keine Angebotselemente des Langsamverkehrs codiert.

Abbildung 5 Untersuchungsperimeter

Quelle: Löchl e.a., 2007b

2 Versuchsplan

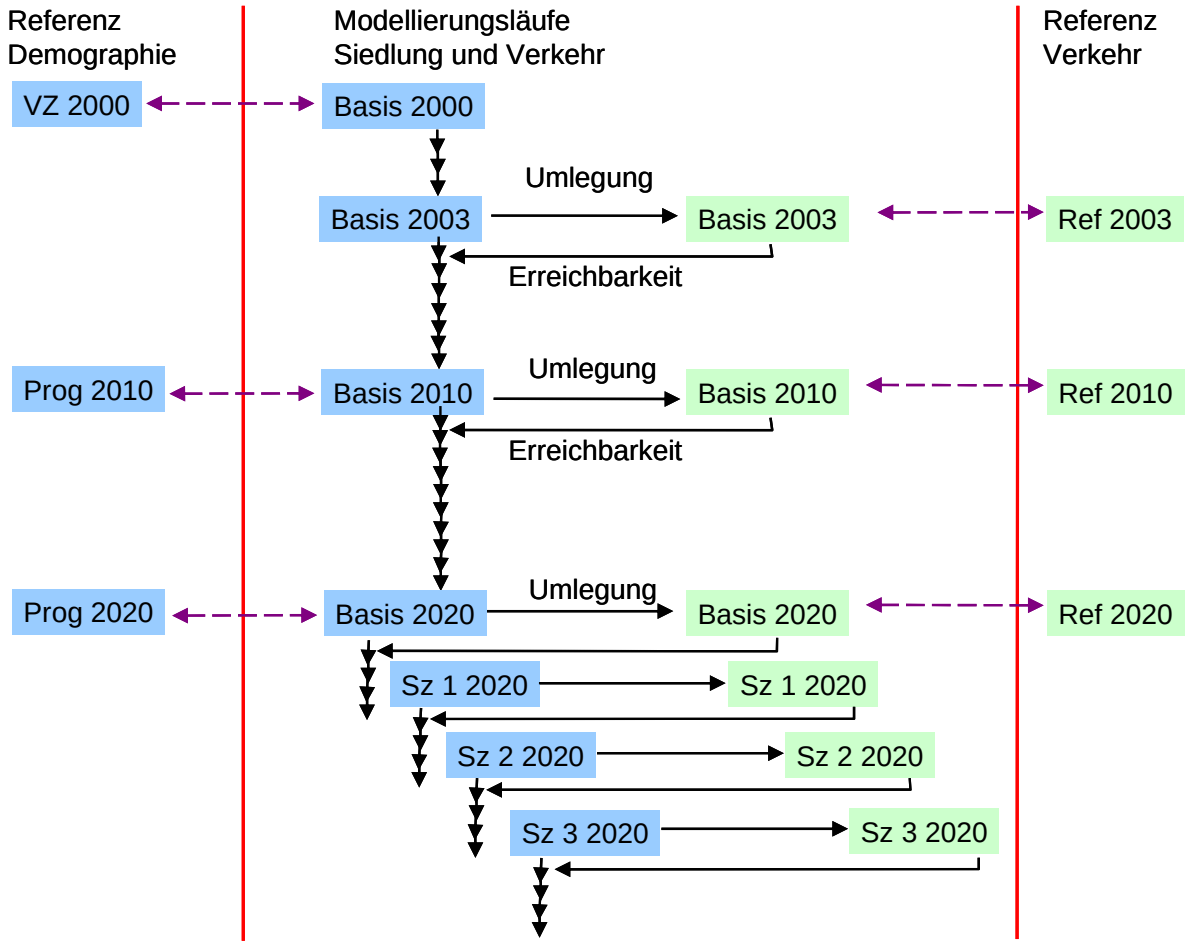
2.1 Vorgehen

Den Rahmen der möglichen Ausbauten der Verkehrsinfrastruktur bildet die kontrovers geführte Debatte im Kantonsrat Zürich über die Revision des kantonalen Verkehrsrichtplans Anfang 2007. Dabei werden aus den im Kantonsrat diskutierten Netzelementen zwei Szenarien von Investitionsentscheidungen entworfen, wovon eines schwergewichtig einen Ausbau der Strasseninfrastruktur beinhaltet, während das andere einen grösseren Ausbau des öffentlichen Verkehrs vorsieht. Da das Angebot des öffentlichen Verkehrs keinen Gegenstand des Richtplans darstellt, wird für das zweite Szenario das Angebot gemäss ZVV-Vision (Zürcher Verkehrsverbund, 2000) zugrunde gelegt. Für diese Netzzustände von MIV und ÖV sowie für verschiedene Zeithorizonte werden die Ziel-, Verkehrsmittel- und Routenentscheidungen mit der Software VISUM 9.43 der Firma PTV AG modelliert und auf das Netz umgelegt. Dabei wird keine komplette Neuschätzung der Matrizen vorgenommen, sondern es werden für Potential- und Verkehrsmittelwahlmodell vereinfachte Modelle angewandt. Die Zielwahl wird gegenüber heute nicht verändert. Damit wird der sekundäre Effekt auf die Erreichbarkeit, der durch die Zielwahlveränderungen infolge unterschiedlicher Veränderungen des Widerstandes auf den verschiedenen Beziehungen eintritt, vernachlässigt. Angesichts der inhärenten Modellungenauigkeiten ist diese Vereinfachung vertretbar.

Die aus der Umlegung ermittelten Widerstände je Beziehung werden in Erreichbarkeiten für die einzelnen Verkehrszonen umgerechnet. Mit diesen Erreichbarkeiten und weiteren Mobilitätsvariablen werden anschliessend die Mietpreise je Verkehrszone neu geschätzt und die Standortwahl der umziehenden Haushalte modelliert. Ceteris paribus wird daraus der isolierte Einfluss der Erreichbarkeitsveränderungen auf die Standortentscheidungen von Privaten und Unternehmen modelliert. Die Siedlungs- und Verkehrsprognosen aus den Modellanwendungen werden anschliessend mit den Prognosen des Statistischen Amtes und des Amtes für Verkehr verglichen und auf ihre Plausibilität geprüft. Anschliessend werden für den finalen Horizont 2020 die Ergebnisse der verschiedenen Szenarien miteinander verglichen und beurteilt.

Abschliessend werden Schlussfolgerungen gezogen, die Anwendbarkeit des Ansatzes UrbanSim für die Analyse der Wechselwirkungen von Siedlung und Verkehr beurteilt und allfälliger Forschungs- und Vertiefungsbedarf aufgezeigt.

Abbildung 6 Übersicht Vorgehen



Quelle: Eigene Darstellung

2.2 Szenarien

Im Rahmen der Verkehrsplanrevision hat der Zürcher Kantonsrat von Januar bis März 2007 seine Vorstellungen für die zukünftige Entwicklung der Verkehrsinfrastruktur definiert und verabschiedet. Gemessen an den Ergebnissen bisheriger Planungsarbeiten zum Gesamtverkehr im Kanton Zürich (z.B. Amt für Verkehr, 2006) und verglichen mit der Vorlage von Regierungsrat hat der Kantonsrat mit der Annahme der meisten Anträge seiner vorberatenden Kommission eine hohe Zahl neuer Strassenausbauten als Richtplaneinträge festgesetzt. Das festgelegte Strassennetz des verabschiedeten Verkehrsplans wird daher im Rahmen der vorliegenden Arbeit als Maximalausbau des Strassennetzes im Kanton Zürich betrachtet.

Im öffentlichen Verkehr sind nur die Infrastrukturausbauten im Richtplan festgelegt. Die für die Erschliessungsqualität viel gewichtigere Angebotskonzeption wird zwischen Kanton und ZVV in der Leistungsvereinbarung geregelt. In der ZVV-Vision, die 2000 erarbeitet wurde, hat der Verkehrsverbund eine mögliche Ausbaustrategie seines S-Bahn-Netzes aufgezeigt. Auch wenn diese Planung nicht mehr ganz aktuell ist, wird der darin skizzierte Netzzustand im Rahmen der vorliegenden Arbeit als Maximalausbau des öffentlichen Verkehrs im Kanton Zürich angenommen.

Basierend auf diesen Grundlagen werden fünf Szenarien definiert.

<u>Basis 2003</u>

Das Szenario umfasst die Angebote im öffentlichen und motorisierten Verkehr, wie sie im Gesamtverkehrsmodell definiert wurden, und dient ausschliesslich zu Vergleichszwecken.

<u>Basisszenario 2010/2020</u>

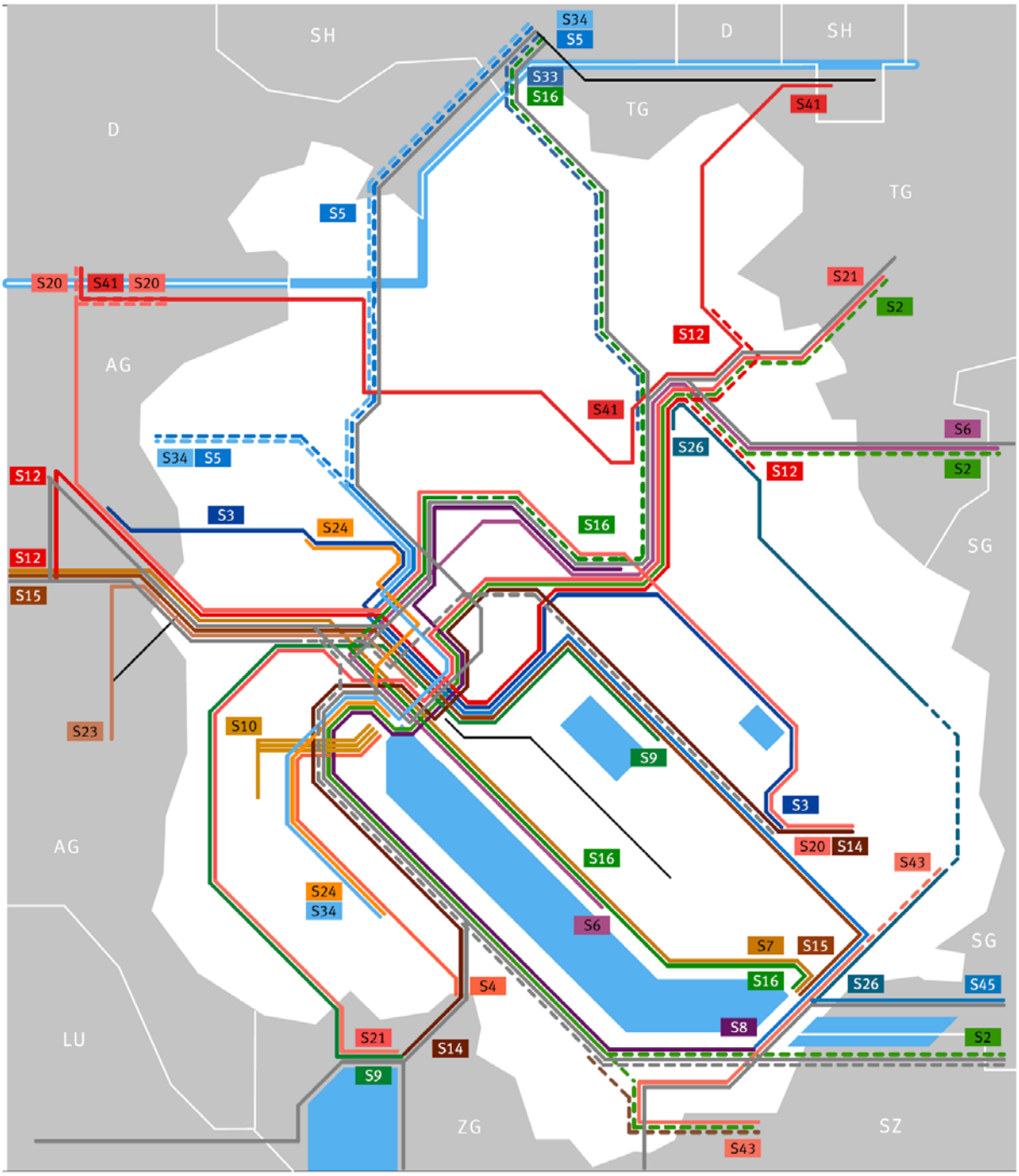
Als Referenzzustand für alle drei Horizonte werden das heute bestehende Angebot sowie alle beschlossenen und bis 2010 realisierten Ergänzungen zugrunde gelegt.

<u>Szenario 1</u>

Das Szenario umfasst die vollständige Realisierung der ZVV-Vision gemäss Abbildung 7 sowie die Umsetzung aller anderen im Agglomerationsprogramm Zürich vorgesehenen ÖV-Ausbauten (Stadtbahn Limmattal, Tram Zürich West). Die Ringbahn Hardwald wird nicht

codiert, weil deren genaue Linienführung zurzeit erst abgeklärt wird. Für das Strassennetz werden nur wenige Ergänzungen vorgenommen, die in der Planung weit fortgeschritten und politisch relativ unbestritten sind (Ausbau Nordumfahrung, Ausbauten Uster).

Abbildung 7 Übersicht ÖV-Angebotselemente nach ZVV-Vision



Quelle: Zürcher Verkehrsverbund, 2000

Szenario 2

Das Szenario 2 beinhaltet die Realisierung praktisch aller Festlegungen von Strassenbauvorhaben im revidierten kantonalen Richtplan. Ausnahmen bilden vereinzelte äusserst langfristige Vorhaben, die kaum je realisiert werden, sowie alle Vorhaben, die keine bessere Erschliessung von Siedlungsgebieten oder keine deutliche Kapazitätssteigerung bewirken. Explizit nicht enthalten ist zudem die äussere Nordumfahrung, die in Szenario 3 abgebildet ist (siehe unten).

Im öffentlichen Verkehr stehen aufgrund der zahlreichen Ausbauten im Strassenverkehr nur noch beschränkte Mittel zur Verfügung. Es wird deshalb das Masternetz 2013 aus dem Gesamtverkehrsmodell mit der Fertigstellung der Glatttalbahn und minimalen Anpassungen am S-Bahn-Netz zugrunde gelegt.

Szenario 3

Mit der Modellierung der beiden obigen Szenarien kann die räumliche Wirkung von integralen Mobilitätsstrategien des Kantons Zürich über mehrere Jahrzehnte prognostiziert werden. Für die praktische Anwendbarkeit ist es allerdings oft von grösserer Bedeutung, ob mit einem Modell auch die Wirkung einer einzelnen Infrastrukturmassnahme aufgezeigt werden kann. Zudem können über die Modellierung einer einzelnen Netzergänzung auch eher Aussagen zur Qualität des Flächennutzungsmodells gemacht werden, weil mit einer einfachen Rückkopplung über das Verkehrsmodell der Effekt auf das Verkehrsaufkommen abgeschätzt und plausibilisiert werden kann. Aus diesem Grund wird für den Zeitzustand 2030 ein Szenario 3 mit einer äusseren Nordumfahrung gerechnet. Diese singuläre Massnahme eignet sich aufgrund der hohen Erschliessungswirkung besonders gut zum Eignungsnachweis des Modells für Einzelmassnahmen.

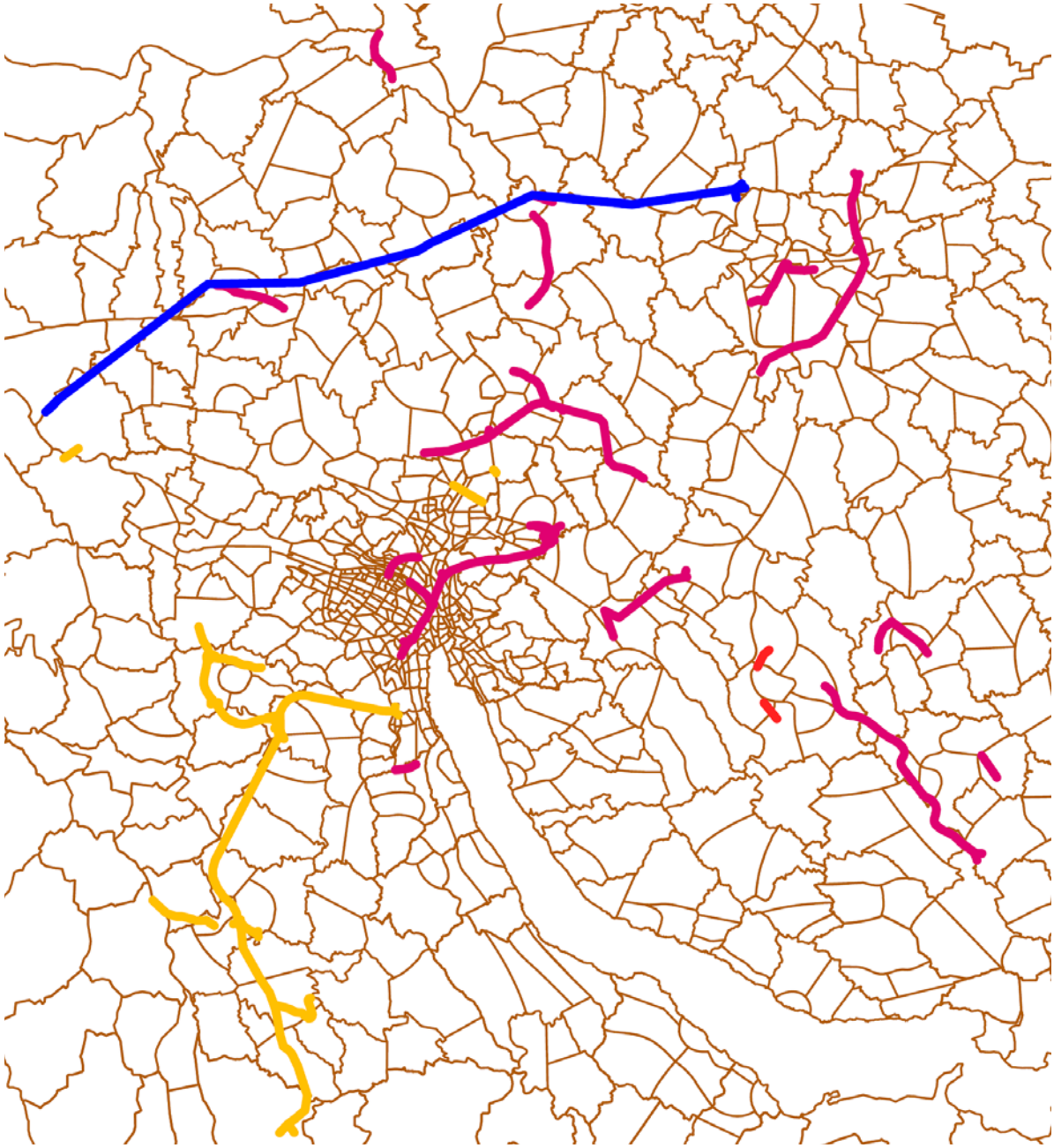
In den folgenden Tabellen sind die einzelnen Elemente und ihre Zuordnung zu den verschiedenen Netzzuständen dargestellt. Bei den MIV-Netzausbauten sind die dazugehörigen Abklassierungen und flankierenden Massnahmen implizit ebenfalls den entsprechenden Zuständen zugeteilt. Beim ÖV sind nur die Angebotselemente dargestellt, die nötigen Infrastrukturvorhaben sind implizit enthalten.

Tabelle 3 Netzzustände und MIV-Elemente

Element	Basis 2010	Szenario 1 2020	Szenario 2 2020	Szenario 3 2020
Westumfahrung Zürich mit FlaMa	x	x	x	x
A4 Knonaueramt mit FlaMa	x	x	x	x
Verlängerung Aubrugg-/Glattalstrasse	x	x	x	x
Halbanschluss A1 Spreitenbach	x	x	x	x
¾-Anschluss A51 Opfikon	x	x	x	x
Ausbau A4 Weinland Nord auf 2x2 Spuren	x	x	x	x
Ausbau A1 Nordumfahrung Zürich (Gubrist)		x	x	
Moosackerstrasse Uster		x	x	
Uster-West		x	x	
Waidhaldetunnel Zürich (Variante lang)			x	
Oberlandautobahn A53 Uster-Betzholz			x	
Tiefgelegte Vogelsangstrasse Winterthur			x	
Heiligbergtunnel Winterthur			x	
Stadttunnel Zürich Brunau-Neuguet			x	
Glattalautobahn Baltenswil-Seebach			x	
Umfahrung Ettenhausen			x	
Umfahrung Eglisau			x	
Umfahrung Dielsdorf-Sünikon			x	
Umfahrung Embrach-Lufingen			x	
Umfahrung Embrach			x	
Nordumfahrung Adliswil			x	
Westtangente Fällanden				
Nordumfahrung Kloten			x	
Westtangente Pfäffikon			x	
Südostumfahrung Winterthur			x	
Ausbau A4 Weinland Süd auf 2x2 Spuren				
Äussere Nordumfahrung Zürich				x

Quellen: Kantonsrat Zürich, 2005; Regierungsrat Kanton Zürich, 2004

Abbildung 8 Übersicht Strassenbauvorhaben nach Szenarien



Legende:

- Infrastrukturvorhaben Basisszenario
- Szenario 1
- Szenario 2
- Szenario 3

Tabelle 4 Netzzustände und Elemente des S-Bahnverkehrs

Element	Basis 2010	Szenario 1 2020	Szenario 2 2020	Szenario 3 2020 (wie Basis)
S3: Stündliche Verlängerung Dietikon-Aarau	x		x	x
S4: Integraler 1-h-Takt Langnau-Sihlwald	x	x		x
S5: ½-h-Takt Oberglatt-Niederweningen	x			x
S6: Integraler ½-h-Takt Regensd.-Buchs ZH	x			x
S8: Stündl. Verlängerung nach Weinfelden	x			x
S15 (neu): Rapperswil-Zürich-Affoltern	x			x
S16: Stündl. Verlängerung nach SH	x			x
S41: Integraler ½-h-Takt	x			x
S6: Integraler ½-h-Takt Buchs ZH-Baden			x	
S11 (neu): Winterthur-Hardbrücke			x	
S2: Verlängerung nach Frauenfeld/Wil		x		
S3: Neue LFR Baden-Wetzikon		x		
S5: Verlängerung Rafz-Schaffhausen		x		
S6: Neue LFR Meilen-Wil		x		
S7: Neue LFR Rapperswil-Aarau		x		
S8: Verkürzung LFR Pfäffikon SZ-Effretikon		x		
S12: Verlängerung nach Aarau		x		
S14: Ergänzung Ast Zürich-Zug		x		
S15: Neue LFR Rapperswil-Aarau		x		
S16: Verlängerung nach Rapperswil		x		
S20 (neu): Hinwil-Waldshut/Zurzach		x		
S21: Neue LFR Zug-Frauenfeld		x		
S23 (neu): Zürich HB-Muri		x		
S24: Neue LFR Regensdorf-Gattikon		x		
S34 (neu): Langnau-Schaffhausen		x		
S41: Verlängerung Winterthur-Stein a. Rhein		x		
S1, S11, S22, S29, S35 und S55: Aufhebung Linien		x		

Quellen: Zürcher Verkehrsverbund (2000)

Tabelle 5 Netzzustände und Elemente des städtischen ÖV

Element	Basis 2010	Szenario 1 2020	Szenario 2 2020	Szenario 3 2020 (wie Basis)
Glattalbahn, 1. Etappe (Linie 11)	x	x	x	x
Glattalbahn, 2. und 3. Etappe (Linien 10 und 12)		x	x	
Tram Zürich West (Linie 4)		x		
Stadtbahn Limmattal		x		

Quellen: VBZ, 2006; Verkehrsbetriebe Glattal, 2003; Amt für Verkehr et al., 2005

Demographisches Vergleichsszenario

Im Rahmen der Arbeit soll unter anderem analysiert werden, wie sich die simulierte Flächennutzung und die daraus abgeleitete verkehrliche Nachfrage von den offiziellen Prognosen unterscheiden. Dabei wird auf die Publikationen zur regionalisierten demographischen Prognose im Kanton Zürich abgestellt (Statistisches Amt des Kantons Zürich, 2006). Ausgehend von der aktuellen Bevölkerungsstruktur werden bei dieser Prognose Einflussgrössen wie Geburten, Sterbefälle, Zu- und Wegwanderungen, Einbürgerungen sowie Wohnbautätigkeit berücksichtigt, um daraus die Bevölkerungszahl und -struktur in den Teilräumen des Kantons in den Folgejahren abzuleiten. Neben den natürlichen Bevölkerungsbewegungen (Geburten und Sterbefälle) werden auch die Wanderungsbewegungen geschätzt. Dabei spielen neben Zuzügen von ausserhalb des Kantons auch die Binnenwanderungen eine Rolle, welche wiederum durch die Wohnbautätigkeit beeinflusst wird. Aufgrund der bisherigen Wohnbautätigkeit sowie einer Reihe von Standortfaktoren wurde deshalb versucht, für die kommenden Jahre das Volumen der Wohnbautätigkeit und deren räumliche Verteilung abzuschätzen. Das für den Kanton Zürich geschätzte Neubauvolumina wurde auf die Regionen und anschliessend auf Gemeindeniveau verteilt. Mitberücksichtigt wurde neben weiteren Faktoren auch die Verkehrsanbindung. Dabei wird das aktuell bestehende Verkehrsnetz zugrunde gelegt. Aus diesem Grund ist auch nur der Vergleich des Basisszenarios aus UrbanSim mit der demographischen Prognose sinnvoll. Die Resultate nach Regionen sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6 Regionalisierte Bevölkerungsprognosen Kanton Zürich 2004-2030

Region	Bevölkerungswachstum in %	Bevölkerungswachstum absolut	Anteil 0 bis 19-jährige 2004	Anteil 0 bis 19-jährige 2004	Anteil 65-jährige und älter 2004	Anteil 65-jährige und älter 2030
Furttal	+ 17.3%	+ 5’000	22.8%	20.1%	11.0%	18.0%
Limmattal	+ 2.6%	+ 1’900	20.8%	20.0%	15.7%	18.6%
Knonauer Amt	+ 18.0%	+ 7’800	24.2%	20.0%	11.8%	20.7%
Zimmerberg	+ 2.5%	+ 2’700	20.3%	19.0%	16.4%	21.8%
Oberland	+ 10.7%	+ 15’700	23.6%	19.4%	13.4%	22.3%
Winterthur und Umgebung	+ 10.7%	+ 17’400	22.0%	19.1%	15.2%	22.0%
Weinland	+ 15.5%	+ 4’400	25.2%	19.1%	13.9%	24.0%
Glattal	+ 10.1%	+ 13’300	20.9%	20.2%	13.5%	17.7%
Unterland	+ 16.0%	+ 14’500	23.7%	20.5%	11.3%	19.0%
Stadt Zürich	+ 3.7%	+ 12’600	16.3%	17.5%	18.6%	18.6%

Quelle: Statistisches Amt des Kantons Zürich, 2006

Die Prognosen wurden für die Etablierung des Gesamtverkehrsmodells verkehrszonenfein vorgenommen und liegen in tabellarischer Form für die Jahre 2015 und 2025 vor. Zusätzlich wurden speziell für die Erarbeitung des kantonalen Gesamtverkehrsmodells durch das kantonale statistische Amt nicht offizielle Prognosen der Beschäftigtenentwicklung sowie der Einwohnerentwicklung in den Zonen ausserhalb des Kantons Zürich erstellt. Für die Kordonbezirke des Gesamtverkehrsmodells (Bezirke 10001 - 10026) wurden keine Prognosen erstellt. Als Ausgangswert für das Jahr 2003 wurde von jeweils 20'000 Einwohnern und 8'000 Arbeitsplätzen je Bezirk ausgegangen, was einem Total von 520'000 Einwohnern und 208'000 Arbeitsplätzen entspricht. Die Hochrechnung der Quell-/Zielmatrizen im Verkehrsmodell stützt sich auf die regionalisierten Bevölkerungsprognosen des Bundesamtes für Statistik (BfS 2006b). Dabei werden die Wachstumsfaktoren der Bevölkerung je Kordonbezirk gemäss dem gesamten Wachstum des entsprechenden Kantons angenommen und nach Ortskenntnissen des Verfassers angepasst (z.B. Region Oberes Fricktal mit leicht tieferem Wachstum als kantonaler Durchschnitt Aargau). Für die Beschäftigtenzahl werden in diesen Gebieten mangels Angaben die gleichen Wachstumsfaktoren zugrunde gelegt wie für die Bevölkerung.

3 Modellierung der Erreichbarkeiten

3.1 Beschreibung des Vorgehens

Bei jedem Zeithorizont und für den Horizont 2020 bei jedem Szenario werden die errechneten Standortentscheidungen ausgelesen. Anschliessend werden die Erreichbarkeiten nach folgender Methodik neu errechnet.

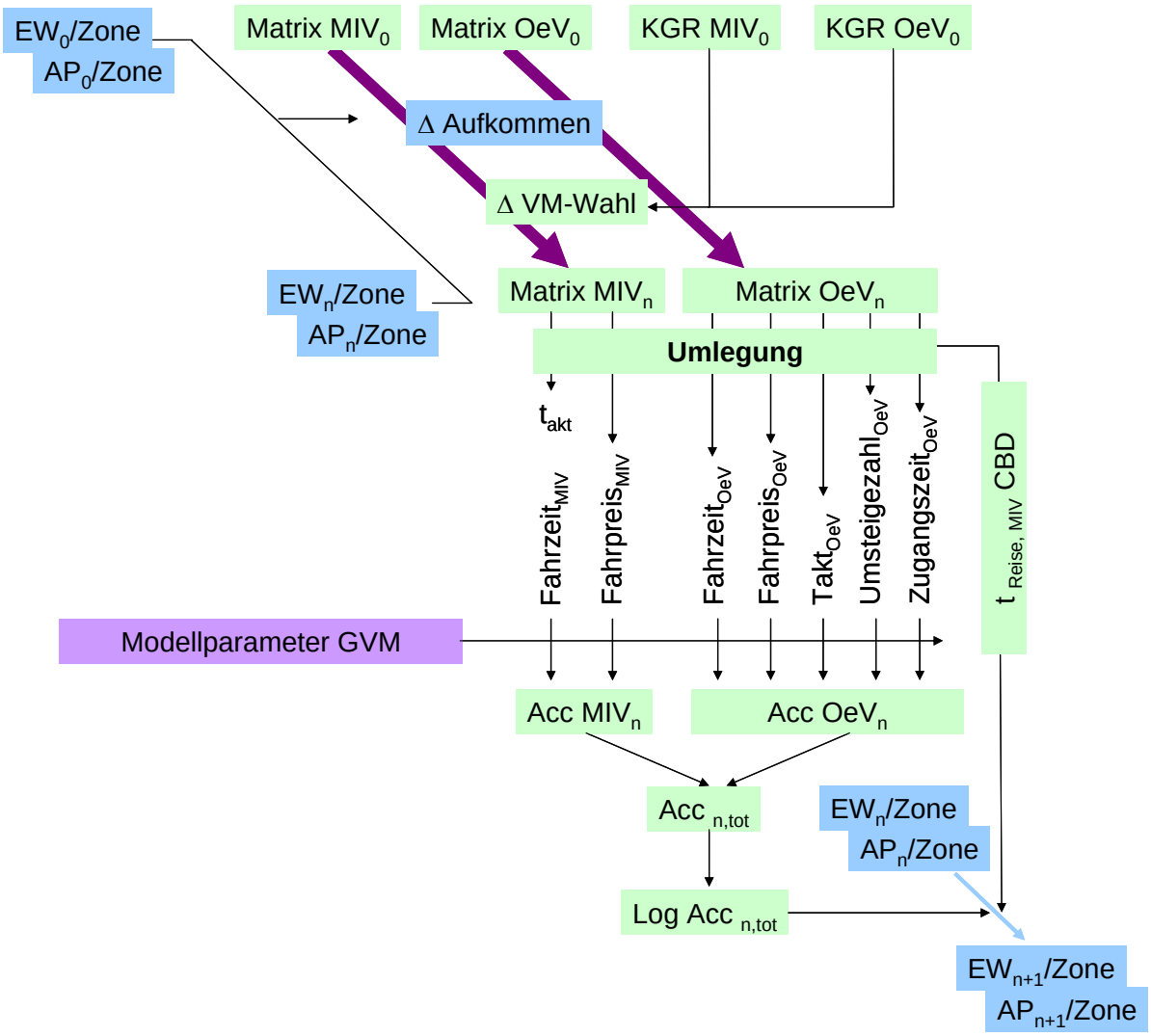
Die demographischen Daten der einzelnen Zonen (Einwohner und Beschäftigte) werden ausgelesen und die Veränderung der Einwohner und Arbeitsplätze je Zone gegenüber dem Ausgangszustand wird bestimmt. Für die Ermittlung der Nachfragematrizen für die verschiedenen Zeitzustände wird keine Neuschätzung mit VISEVA vorgenommen, sondern die GVM-Matrizen des Ist-Zustandes werden mittels des in VISUM eingebauten Tools MUULI um die ermittelten Wachstumsfaktoren von Bevölkerung und Arbeitsplätzen so hochgerechnet, dass die Randsummen der Matrizen eingehalten werden. Um die angebotsinduzierten intermodalen Effekte zu berücksichtigen, werden die Verkehrsmittelanteile für die einzelnen Beziehungen aufgrund der in einer Primärumlegung ermittelten Werte für die Kenngrössen (KGR) mittels Pivot-Point-Ansatz korrigiert (Ortuzar und Willumsen, 2001).

Anschliessend werden die um Siedlungswachstum und intermodale Effekte bereinigten Matrizen auf das diesem Szenario oder Zustand zugrunde liegende Verkehrsnetz umgelegt und die LogSum-Werte der verschiedenen relevanten Kenngrössen im MIV und ÖV werden ausgelesen, um die Erreichbarkeiten für die beiden Verkehrsmodi neu zu berechnen. Für die Bestimmung der Erreichbarkeiten müssen unter anderem die Reisezeiten zwischen den einzelnen Zonen für die verschiedenen Zustände ermittelt werden. Im Falle des motorisierten Verkehrs fliessen dabei die aktuellen Reisezeiten auf dem belasteten Netz in die Erreichbarkeitsberechnung ein.

Die verschiedenen Einflussgrössen werden mit den Modellparametern aus dem GVM gewichtet sowie mit der Zahl der Gelegenheiten (Einwohner und Arbeitsplätze) multipliziert und die verkehrsmittelspezifischen Erreichbarkeiten errechnet. Die beiden Erreichbarkeiten für ÖV und MIV werden addiert und logarithmiert und anschliessend als Input wieder in den nächsten Schritt des Flächennutzungsmodells integriert.

Neben der intermodalen Erreichbarkeit fliesst zudem die Reisezeit mit dem MIV zum Bürkliplatz im Central Business District von Zürich (CBD) in das Standortwahlmodell von UrbanSim ein. Die Reisezeit zum Flughafen mit dem MIV wurde ursprünglich im Rahmen des ZUK-Projektes ebenfalls in die Schätzung miteinbezogen, aufgrund der Kollinearität aber wieder ausgeschieden.

Abbildung 9 Vorgehen Ermittlung Erreichbarkeiten



3.2 Modellberechnungen MIV

3.2.1 Codierung der Netzelemente

In der nachfolgenden Tabelle sind die Streckenobertypen im vorhandenen MIV-Modell aufgeführt.

Tabelle 7 Streckentypen im MIV-Modell aus dem GVM

Streckentyp	Strassentyp	Kapazität je Fahrstreifen	Reisegeschwindigkeit
00			
10	Hochleistungsstrasse	1210 – 1800 Fz/h	67 – 120 km/h
20	Hauptverkehrsstrasse	605 – 900 Fz/h	45 – 80 km/h
30	Verbindungsstrasse	605 – 900 Fz/h	42 – 75 km/h
40	Nebenstrasse	564 – 840 Fz/h	39 – 70 km/h
50	(leer)		
60	Hochleistungsstrasse geplant (A4, A53)	1210 – 1800 Fz/h	67 – 120 km/h
7x	Div. einzelne Verbindungen	unterschiedlich	unterschiedlich
80	Div. einzelne Verbindungen	unterschiedlich	unterschiedlich
90	Anbindungsstrecke	5000 Fz/h	unterschiedlich

Quelle: Amt für Verkehr, 2005

Die exakte Kapazität einer Strecke richtet sich innerhalb eines Streckentyps nach ihrer Kurvigkeit und der Lage. Die maximale Leistungsfähigkeit eines Fahrstreifens des betreffenden Streckentyps wird mit folgenden Faktoren multipliziert:

$\varepsilon_{Kurvigkeit}$ = 1.0 (gestreckt)
= 0.92 (mixed)
= 0.84 (kurvig)

ε_{Lage} = 1.0 (ausserorts)
= 0.9 (mixed)
= 0.8 (innerorts)

Zur Ermittlung der Tageskapazität werden die Stundenwerte mit 16 multipliziert.

Analog dazu wird die tatsächliche Reisegeschwindigkeit über die Multiplikation der maximalen Geschwindigkeit des entsprechenden Streckentyps mit den folgenden Faktoren ermittelt:

$\varepsilon_{Kurvigkeit}$	= 1.0 (gestreckt)	ε_{Lage}	= 1.0 (ausserorts)
	= 0.9 (mixed)		= 0.9 (mixed)
	= 0.8 (kurvig)		= 0.7 (innerorts)

Auf Tunnelstrecken in Ausserortsbereichen (v.a. auf Nationalstrassen) wird die Geschwindigkeit unabhängig von Lage und Kurvigkeit aus Aspekten der Sicherheit auf 80 km/h reduziert.

Den ergänzten und abklassierten Netzelementen werden nach Strassentyp und Szenario VISUM-Streckentypen zugewiesen, wobei die erste Ziffer für den Strassentyp steht (1x für neue Hochleistungsstrassen (HLS), 2x für neue Hauptverkehrsstrassen (HVS)), während die zweite Ziffer den Netzzustand nach folgendem Muster beschreibt:

Tabelle 8 Zuweisung von Realisierungszeitpunkten zu Streckuntertypen

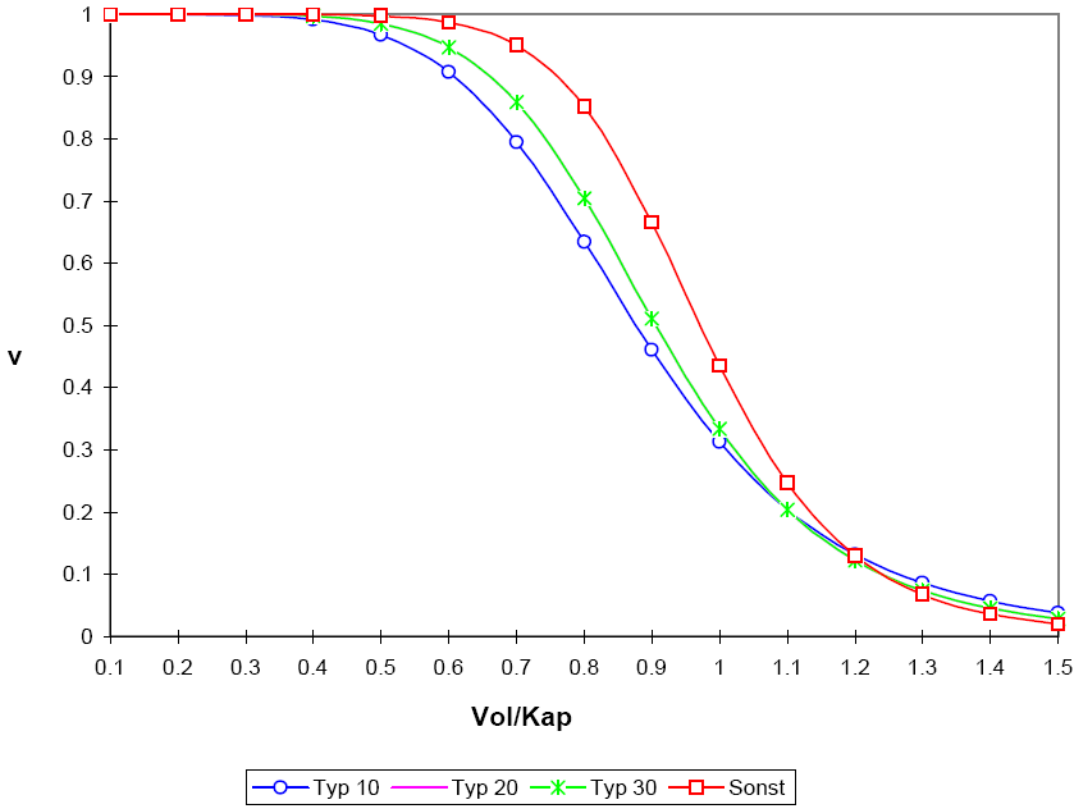
Element	Basis 2010	Szenario 1 2020	Szenario 2 2020	Szenario 3 2020
Y1 (Abklassierungen)	x	x	x	x
Y2 (Abklassierungen)		x	x	
Y3 (Abklassierungen)			x	
Y4 (Abklassierungen)				x
Y5 (Infrastrukturvorhaben)	x	x	x	x
Y6 (Infrastrukturvorhaben)		x	x	
Y7 (Infrastrukturvorhaben)			x	
Y9 (Infrastrukturvorhaben)				x

In der Tabelle in Anhang A1 sind die vorgesehenen MIV-Netzelemente für die verschiedenen Zustände beschrieben. Die Westumfahrung, die neue A4 im Knonaueramt sowie der Waidhaldetunnel werden dabei nicht mehr aufgeführt, da sie bereits im Netzmodell codiert

sind. Abklassierungen, die als flankierende Massnahmen zu einem Netzausbau gedacht sind, werden ebenfalls dargestellt.

Die Abklassierung der Ortsdurchfahrten, die durch die neuen Umfahrungsstrassen entlastet werden, wird über die Änderung der beschriebenen Attribute halbautomatisch vorgenommen. Dabei wird das nachstehend beschriebene vereinfachte Verfahren angewandt: In den meisten Fällen handelt es sich bei den abzuklassierenden Strecken um relativ stark belastete Hauptverkehrsstrassen, deren durchschnittliche Geschwindigkeit v_0 heute innerorts bei 40 bis 45, ausserorts bei 50 bis 60 km/h liegt. Es wird davon ausgegangen, dass die flankierenden Massnahmen die Geschwindigkeit dieser Strecken um rund 30% reduzieren; die Kapazität wird gemäss Abbildung 10 um rund 12% reduziert. Dieses Verfahren wird für die meisten abzuklassierenden Strecken angewandt.

Abbildung 10 CR-Funktionen gemäss kantonalem Verkehrsmodell



Quelle: Tiefbauamt des Kantons Zürich, 2000

Die flankierenden Massnahmen der Westumfahrung in der Stadt Zürich werden folgendermassen codiert: Die Seebahnstrasse wird neu in beiden Richtungen befahrbar und die Abbiegebeziehungen werden gemäss Abbildung 11 angepasst. Auf der Weststrasse wird der Widerstand erhöht (Senkung v_0 auf 20 bis 30 km/h, deutliche Reduktion der Kapazität gemäss Anhang, keine durchgehende Verbindung mehr, dafür Führung im Gegenverkehr).

Der Ausbau der A1-Nordumfahrung um Zürich wird durch eine Erhöhung der Kapazität um 40% und durch eine Erhöhung von v_0 von 98 auf 108 km/h abgebildet, da durch den Kapazitätsausbau der heutige Engpass beseitigt und die Fahrt dadurch flüssiger wird.

Der Ausbau der A4 im Zürcher Weinland auf 2x2 Spuren wird durch eine Erhöhung der heutigen Kapazitäten um 60 bis 100% berücksichtigt. Die Geschwindigkeiten werden unverändert belassen, da diese in diesem Fall durch die kurvige Linienführung gegeben sein dürften.

Da es sich bei den verschiedenen Netzelementen im Strassennetz ausschliesslich um Hochleistungs- und Umfahrungsstrassen handelt, die nicht direkt der Erschliessung von Siedlungsgebieten dienen, werden keine neuen Anbindungen ergänzt.

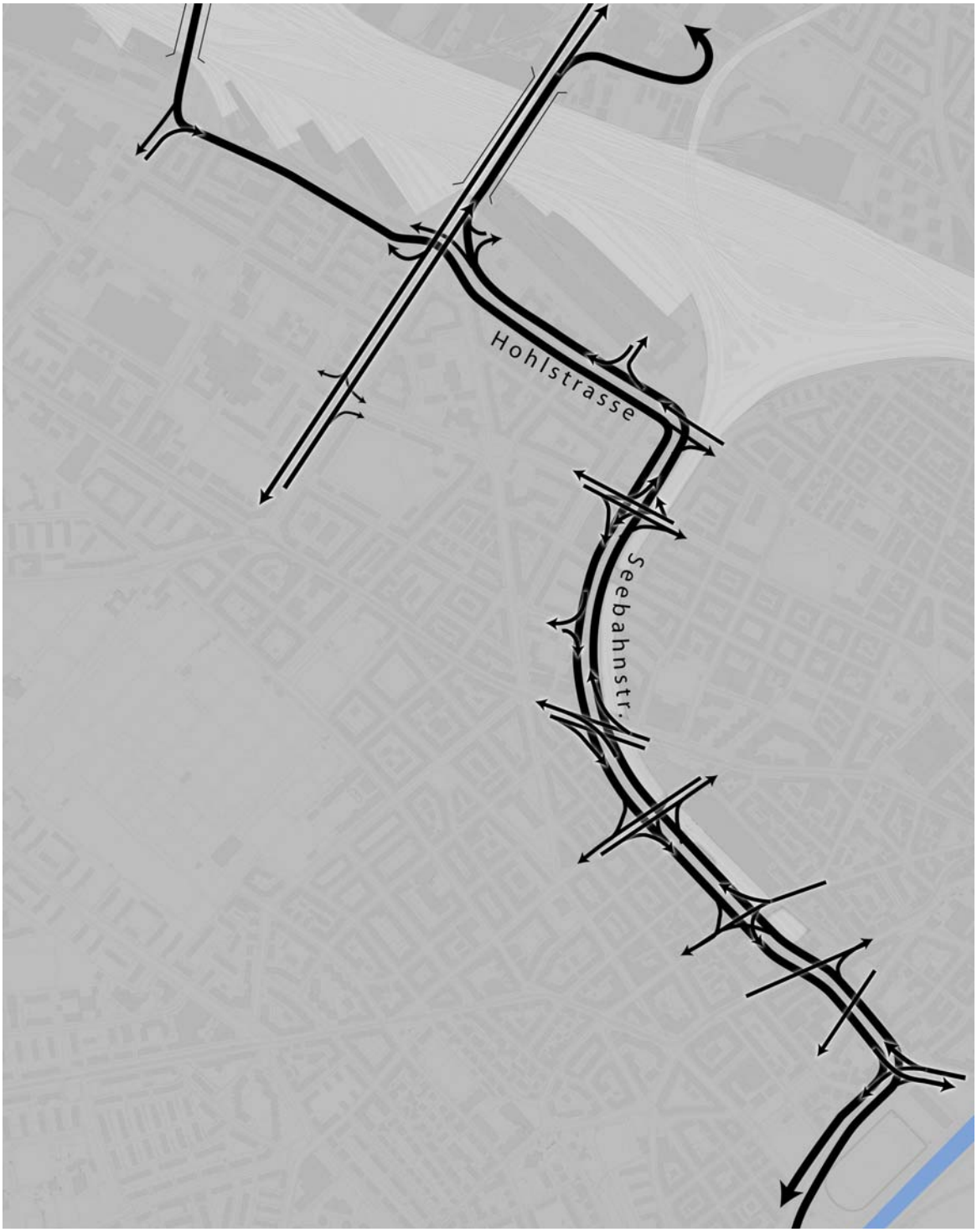
3.2.2 Beschreibung der Verfahrensparameter

Die Matrizen der einzelnen Umstände werden mittels Gleichgewichtsverfahren auf das Netz umgelegt. Dabei werden die Verfahrensparameter aus dem Gesamtverkehrsmodell des Kantons verwendet. Die Nachfrage wird dabei in sechs Schritten sukzessiv erhöht (35, 20, 15, 15, 10, 5), der Netzausgleich umfasst maximal 20 Iterationen.

3.2.3 Ermittlung der generalisierten Reisekosten

Für den MIV werden nur zwei Kostenelemente berücksichtigt: Die Reisezeit und die Fahrtkosten. Die Fahrtkosten werden gemäss Vrtic e.a. (2005b) auf 0.25 CHF/km (Preisstand 2000) geschätzt und können über eine simple Multiplikation für die verschiedenen Beziehungen ermittelt werden.

Abbildung 11 FlaMa West: Geänderte Abbiegebeziehungen Seebahnstrasse



Quelle: Stadt Zürich, 2006

Massgebend für die Erreichbarkeit sind im Prinzip die tatsächlichen Reisezeiten auf dem belasteten Netz. Auf hoch belasteten Abschnitten liegen diese Reisezeiten in der Spitzenstunde deutlich über der Reisezeit auf dem unbelasteten Netz. Dieser Zusammenhang wird für das im vorliegenden Fall verwendete MIV-Netz in Abbildung 10 dargestellt.

Für Hochleistungsstrassen (Typ 10) und Hauptverkehrsstrassen (Typ 20 und 30) ergibt sich demnach bereits bei 70% Auslastung eine Reisezeiterhöhung um rund 25%, bei 90% verdoppelt sich die Reisezeit auf dem belasteten Abschnitt gegenüber dem unbelasteten Zustand. Das für die Arbeit zur Verfügung stehende Gesamtverkehrsmodell des Kantons Zürich beinhaltet allerdings nur Nachfragematrizen für den Wochentagsverkehr, die Spitzenstundennachfrage ist nicht vorhanden. Damit ist eine Modellierung der tatsächlichen (aktuellen) Reisezeiten auf sehr hoch belasteten Abschnitten mit diesem Modell nicht möglich, da der gesamte tägliche Verkehr gleichmässig auf das Netz umgelegt wird und sehr grosse Reisezeitverluste durch die mittlere Tageskapazität nicht ausreichend abgebildet werden. Die aktuellen Reisezeiten fliessen bei der Ermittlung der Erreichbarkeiten deshalb nur teilweise ein, weshalb die Erreichbarkeit gegenüber der tatsächlichen Situation für alle Zonen, von oder zu denen Wege über die stark belasteten Abschnitte führen, zu gross dargestellt wird. Allerdings gilt das bereits für die Ermittlung der Erreichbarkeit im Ist-Zustand, weshalb die Verzerrung relativ gesehen klein ist.

Eine Erfassung der aktuellen Reisezeiten wäre zwar über eine zusätzliche Umlegung des Spitzenstundenanteils aus den Matrizen auf das mit den stündlichen Kapazitäten des GVM attributierte Streckennetz möglich, allerdings würden dadurch weitere Entscheidungsmöglichkeiten des Verkehrsteilnehmers in der Spitzenstunde neben der Akzeptanz der höheren Reisezeit (z.B. Anpassung der Abfahrtszeit) nicht berücksichtigt, was das Resultat wiederum auf die andere Seite verzerren würde (Tiefere Erreichbarkeit als in der Realität). Als praktisches Beispiel dafür sei auf die Erkenntnisse nach dem Bau der 3. Bareggröhre verwiesen, wo infolge der langen Staus vor dem Ausbau viele Verkehrsteilnehmer ihre Abfahrtszeit angepasst und diese Entscheidung nach der Kapazitätserweiterung umgehend wieder rückgängig gemacht haben. Zudem haben Forschungsarbeiten in der Vergangenheit gezeigt, dass der Zeitwert von motorisierten Verkehrsteilnehmern insbesondere im Pendlerverkehr hinsichtlich Reisezeitverzögerungen infolge Verkehrsüberlastung tiefer ist als der allgemeine Zeitwert für die ungestörte Reisezeit (Macht der Gewohnheit), weil mit der Automobilität emotional Möglichkeiten verbunden werden, die nicht direkt im deterministischen Modell abgebildet werden (Dietiker et al., 2002). Es kann daher davon ausgegangen werden, dass der Einfluss der Reisezeiteinbussen auf stark belasteten Abschnitten auf die Erreichbarkeit einen eher geringen Einfluss hat.

3.3 Modellberechnungen ÖV

3.3.1 Codierung der Angebotselemente

Aus dem kantonalen Gesamtverkehrsmodell lag für die Arbeit der Netzzustand 2003 vor. Darin werden die Neubaustrecken (Durchgangsbahnhof und Zürichbergtunnel, Glattalbahn, Tram Zürich West, Stadtbahn Limmattal) ergänzt. Dabei werden die folgenden Streckentypen zugewiesen.

Tabelle 9 Streckentypen für Neubaustrecken

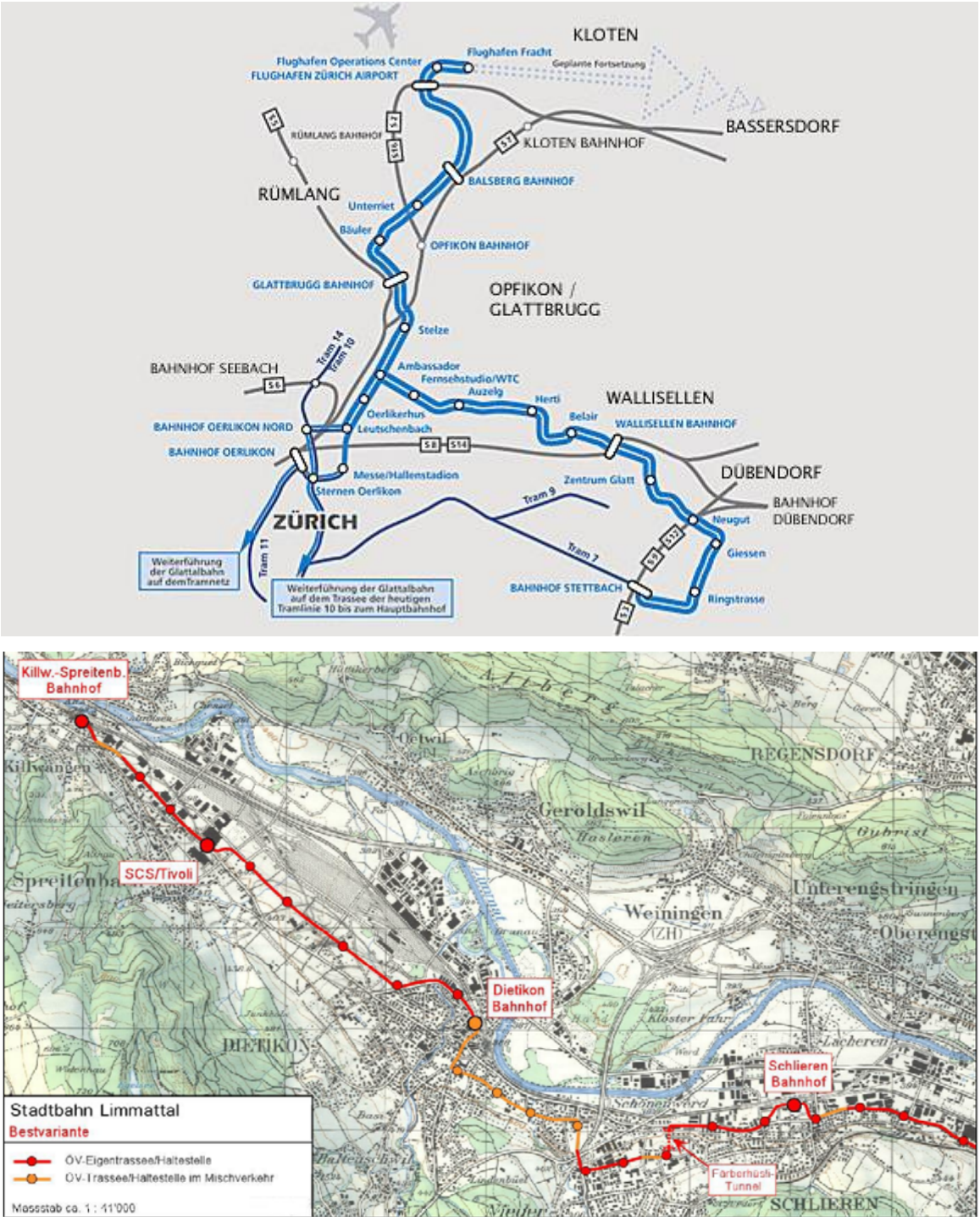
Element	Basis 2010	Szenario 1 2020	Szenario 2 2020	Szenario 3 2020
06 Neubaustrecken 2010	x	x	x	x
07 Neubaustrecken 2020		x	x	x
97 Neubaustrecken Stadtbahnen	(x)	x	x	x
94 ÖV-Wege				

Anschliessend werden für den Basiszustand und die Szenarien 1 und 2 die Angebotselemente gemäss Tabelle 4 codiert. Da für das Szenario 1 im Zustand 2020 (Umsetzung S-Bahn-Vision) der Fahrplan nicht bekannt ist, wird das Gewicht vor allem auf eine vollständige und richtige Erfassung der Anzahl Kurse pro Tag und Linie gelegt. Gemäss ZVV-Vision wird dabei mit Ausnahme einiger weniger Linien von einem integralen ½-h-Takt ausgegangen. Bei Betriebszeiten von 5 bis 24 Uhr resultieren dabei 38 Kurse pro Tag und Richtung. Die zusätzlichen Depotfahrten bei Betriebsbeginn und – schluss über einen Teil des Linienverlaufs werden nicht berücksichtigt. Für die Linien der Glattalbahn (VBZ-Linien 10, 11 und 12) und das Tram Zürich West (VBZ-Linie 4) wird von einem 7.5-Minuten-Takt, für die Stadtbahn Limmattal von einem 10-Minuten-Takt ausgegangen.

Die Ergänzungen des S-Bahn-Netzes werden prinzipiell auf dem bestehenden Netz realisiert. Die S-Bahn-Linien S2, S8, S14, S21, S24, S34 werden allerdings durch den neuen Durchgangsbahnhof und die Durchmesserlinie geführt. Die allfällige Führung von Fernverkehrslinien auf der neuen Durchmesserlinie wird nicht abgebildet, da der Einfluss auf die Erreichbarkeit des Simulationsgebietes vernachlässigbar ist. Die direkten Anbindungen an die bestehenden Stationen werden beibehalten. Zu den neuen Haltestellen der S-Bahn und der Stadtbahnlinien werden Anbindungen ergänzt. Zudem werden Fusswege vom Typ 94

zwischen den bestehenden Haltestellen und den neuen Haltestellen der Stadtbahnlinien eingefügt.

Abbildung 12 Linienführungen Glattalbahn und Stadtbahn Limmattal



Quelle: Amt für Verkehr et al., 2005; Verkehrsbetriebe Glattal, 2003

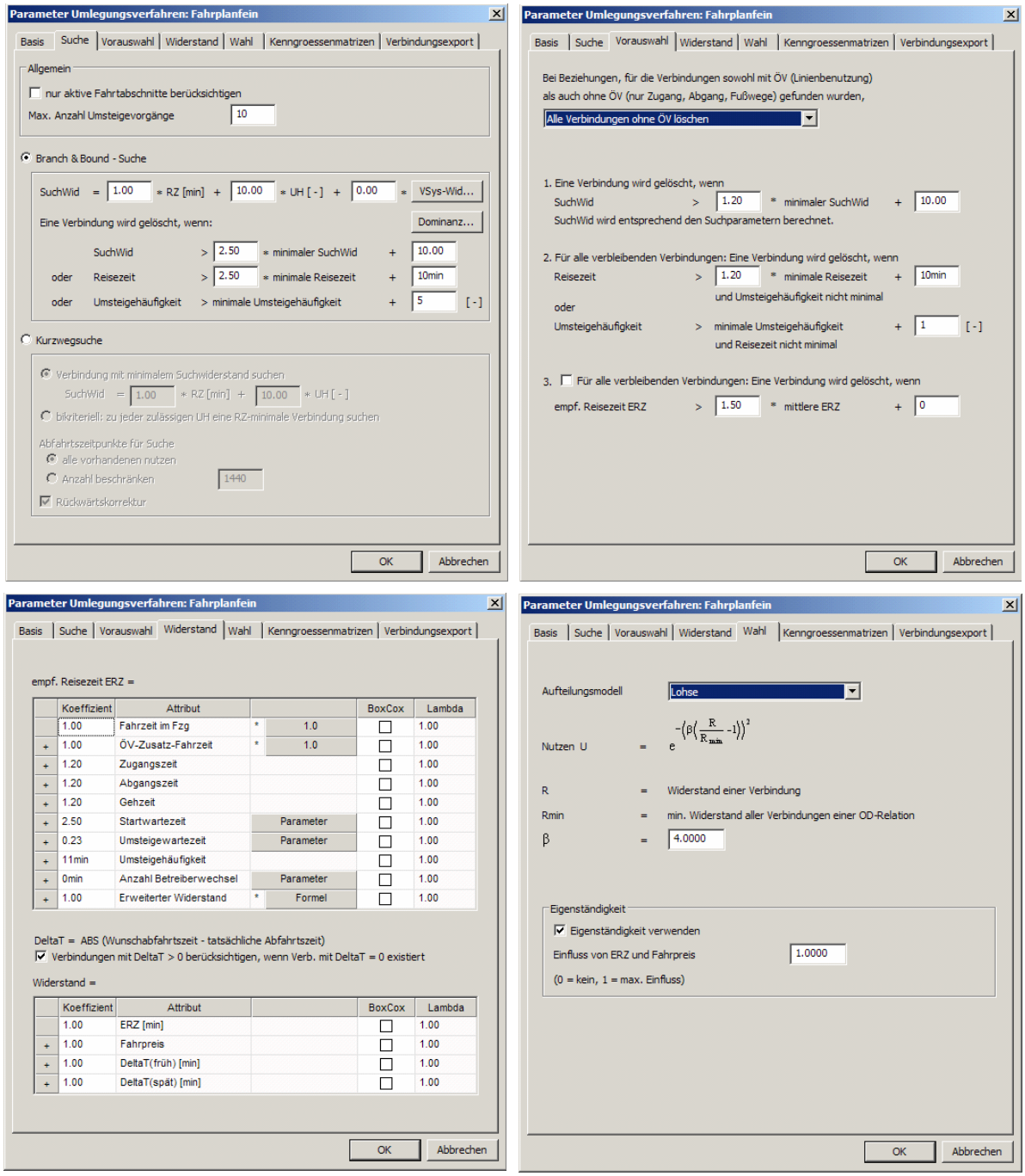
Das Angebot der Buszubringer zu den S-Bahn-Stationen wird auch beim grossen Ausbau des S-Bahn-Netzes gemäss Szenario 1 nicht verändert. Einerseits sind dazu die erforderlichen Grundlagen angesichts des langen Zeithorizontes der ZVV-Vision noch nicht erarbeitet worden, andererseits soll gemäss Strategie der Gesamtverkehrskonzeption die Siedlungsentwicklung im Einzugsgebiet der S-Bahn-Stationen erfolgen. Da das Szenario 1 der prinzipiellen Stossrichtung der Gesamtverkehrskonzeption folgen soll, wäre ein Ausbau des untergeordneten Busnetzes kontraproduktiv, weil dadurch die Siedlungsentwicklung weiter von den Bahnhöfen entfernt stattfinden würde. In diesem Sinne soll das Szenario 1 auch zeigen, ob mit dem alleinigen Ausbau des S-Bahn-Angebotes ein namhafter Beitrag zur Konzentration der Siedlungsentwicklung um die S-Bahn-Stationen geleistet werden kann.

3.3.2 Beschreibung der Verfahrensparameter

Für die Umlegung des öffentlichen Verkehrs wird ein fahrplanfeines Verfahren gewählt. Dabei werden die Parameter aus dem Gesamtverkehrsmodell gemäss Abbildung 13 verwendet.

Bei der Codierung der neuen S-Bahn-Linien im Szenario 1 wird jeweils ein möglicher Fahrplan aufgrund parallel verlaufender Kurse eingegeben. Dieser ist allerdings nicht auf das bestehende Busangebot abgestimmt, weshalb die Anschlüsse nicht optimiert abgebildet sind. Zudem gehen bestehende Anschlüsse zwischen S-Bahn und unter- und übergeordnetem Netz sowie zwischen verschiedenen S-Bahn-Linien verloren, weil einzelne S-Bahn-Linien aufgehoben werden. Diese fehlenden Anschlüsse, die in Realität durch Justierung der S-Bahn-Fahrpläne (Anschlüsse an übergeordnetes Netz bzw. andere S-Bahn-Linien) sowie der Busfahrpläne (Anschlüsse ans untergeordnete Netz) vermieden würden, können die Ermittlung der Erreichbarkeit in hohem Masse verzerren. Aus diesem Grund werden aus dem Ist-Zustand die Umsteigewartezeiten und Gehzeiten je Verbindung als Kenngrössenmatrizen exportiert und addiert. Diese Referenzanschlusszeiten werden für die Ermittlung der Erreichbarkeit anstelle der jeweiligen Werte aus dem Verkehrsmodell zu den Werten der Kenngrössenmatrix „Reisezeit im Fahrzeug“ des Szenarios 1 addiert und fliessen als Beförderungszeit in die Ermittlung der Erreichbarkeit ein. Durch diese Vereinfachung werden allerdings die Reduktion der Umsteigewartezeit und der Umsteigegehzeit durch neue Direktverbindungen nicht abgebildet. Der Effekt neuer Direktverbindungen wird allerdings immer noch über den Faktor Umsteigehäufigkeit berücksichtigt, so dass die Wirkung trotzdem teilweise abgebildet wird.

Abbildung 13 Verfahrensparameter ÖV-Umlegung in VISUM



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von PTV 2006

Für die Ermittlung der erweiterten Anpassungszeit (siehe Kapitel 3.3.3) ist eine zweite Umlegung mit leicht angepassten Parametern nötig. Es handelt sich dabei um eine Kenngrösse, die das Verhalten der ÖV-Teilnehmer hinsichtlich Abgangszeitpunkt am

Quellort in Abhängigkeit von der Abfahrtszeit des Kurses an der ersten Haltestellte beschreibt. Um die erweiterte Anpassungszeit als Näherungsmass für das durch 4 geteilte Intervall zu bestimmen, muss die Nachfrage deshalb minutenfein in das Netz eingesetzt werden, da sonst nicht alle Kurse des Angebotes für die Bestimmung richtig errechnet werden. Zudem werden bei dieser zweiten Umlegung nur diejenigen Verbindungen gelöscht, die eine um 40% höhere Reisezeit aufweisen als die minimale Reisezeit (gegenüber 20% bei der ersten Umlegung).

3.3.3 Ermittlung der generalisierten Reisekosten

Für den öffentlichen Verkehr sind fünf Kostenelemente relevant: Einerseits die gemäss obigem Verfahren ermittelte Beförderungszeit sowie die Fahrtkosten, welche sich analog zum MIV als Multiplikation von Fahrtweite und Kostensatz ergeben. Der Kostensatz für den öffentlichen Verkehr wird dabei zu 0.177 CHF/km (Preisstand 2003) angenommen. Zusätzlich zum MIV-Modell werden das Intervall, die Zugangszeit und die Umsteigezahl berücksichtigt. Als Wert für das Intervall hat sich in anderen Arbeiten die mit 4 multiplizierte „Erweiterte Anpassungszeit“ als beste Näherung erwiesen, welche daher anstelle des Intervalls in die Erreichbarkeitsrechnung einfliesst[1].

Da alle Kostenelemente beim öffentlichen Verkehr im Allgemeinen nicht belastungsabhängig sind, können sie direkt aus der Primärumlegung ausgelesen werden. Eine Umlegung der um die intermodalen Effekte bereinigten Matrix ist nicht nötig.

[1] Mündliche Auskunft von Ph. Fröhlich am 10. Juli 2007

3.4 Ermittlung der Erreichbarkeit

Die beschriebenen Kostenelemente der generalisierten Kosten für den MIV und den ÖV werden als Kenngrössenmatrizen im $O-Format (Liste der Einzelbeziehungen x_{ij}) aus VISUM ausgelesen und anschliessend in die aus dem ZUK-Projekt vorhandenene und leicht angepasste Access-Datenbank eingelesen. Dabei wird für jedes Kostenelement eine eigene Kenngrössenmatrix erstellt und exportiert.

Tabelle 10 Verwendete Kenngrössenparameter aus Modellumlegungen

Kenngrösse	Code deutsch	Code englisch
Reisezeit MIV		TTC
Reisedistanz MIV		DIS
Beförderungszeit ÖV	MBZ	RIT
Fahrzeit im Fahrzeug ÖV	MFZ	IVT
Umsteigewartezeit	MUZ	TWT
Gehzeit für Umsteigefussweg	MGZ	WKT
Fahrtweite ÖV	MFW	IVD
Zugangszeit ÖV	MZZ	ACT
Umsteigehäufigkeit ÖV	MUH	NTR
Erweiterte Anpassungszeit ÖV	MEAP	XADT

Quelle: PTV 2006

Die Erreichbarkeiten werden dann mittels der Datenbank gemäss folgender allgemeiner Formel für die beiden Verkehrsmodi ermittelt.

$$E_i = \ln \sum_{\forall ij} X_j \, e^{-\beta k_{ij}}$$

E_i	Erreichbarkeit Zone i
X_j	Anzahl der Gelegenheiten (z.B. Bevölkerung) in Zone j
k_{ij}	Generalisierte Reisekosten zwischen Zone i und j
β	Gewichtungsfaktor

Die generalisierten Reisekosten setzen sich für die beiden Verkehrsmodi aus den oben beschriebenen Elementen zusammen. Die Gelegenheiten entsprechen den Einwohnern bzw. den Beschäftigten der jeweiligen Verkehrszone im jeweiligen Szenario gemäss Kapitel 2.2. Als massgebend wird die mit den Beschäftigten der jeweiligen Zielzonen gewichtete Erreichbarkeit in die Flächennutzungsmodellierung einbezogen. Die Gewichtungsfaktoren werden aus der Modellschätzung des Gesamtverkehrsmodells gemäss Tabelle 11 übernommen.

Tabelle 11 Modellparameter für alle Verkehrszwecke

Variable	Einheit	Parameter	Bemerkungen
Fahrzeit MIV	h	-0.893	
Fahrtkosten MIV	CHF	-0.050	Fahrtkosten: 0.25 CHF/km
Beförderungszeit ÖV	h	-0.609	
Fahrtkosten ÖV	CHF	-0.050	Fahrtkosten: 0.177 CHF/km
Zugangszeit ÖV	h	-2.093	
Umsteigezahl ÖV	-	-0.304	
Intervall ÖV	h	-0.446	Erw. Anpassungszeit

Quelle: Vrtic et al., 2005b

Die angegebenen Fahrtkostenansätze gelten für das Basisjahr 2003. Es wird keine Diskontierung für die zukünftigen Zustände vorgenommen, da sich infolge der Teuerung auch die Zeitkosten anpassen, welche ebenfalls konstant belassen werden. Angesichts der Prognoseungenauigkeiten und des Pilotcharakters der Arbeit ist diese Vereinfachung zulässig.

Da im Standortwahlmodell nur eine Erreichbarkeit je Verkehrszone eingelesen werden kann, werden die beiden ermittelten Erreichbarkeiten für den Export in UrbanSim unlogarithmiert addiert und diese gemittelte Erreichbarkeit erst anschliessend logarithmiert. Dieses Vorgehen stellt eine zuverlässige Vereinfachung dar, da es bei Berücksichtigung aller für die Entscheidungssituation relevanten Parameter (gemäss Tabelle 11) für die Veränderung der Erreichbarkeit keine Rolle mehr spielt, ob sie durch eine Verbesserung des ÖV- oder des MIV-Angebotes herbeigeführt wird. Gegenüber dem ZUK-Projekt wird demnach mit einer intermodalen Erreichbarkeit statt der reinen Erreichbarkeit mit dem Individualverkehr gerechnet.

4 Modellierung der Standortentscheidungen

4.1 Geschätzte Teilmodelle in UrbanSim

4.1.1 Ausgangslage aus ZUK-Projekt

Das im ZUK-Projekt verwendete Modell basiert auf der Funktionalität gemäss Kapitel 1.2.2. Als Basisdaten für die Parameterschätzung standen dabei zwei Datensätze zur Verfügung:

- Befragung von 9000 Haushalten zur Wohnsituation und den soziodemographischen Hintergründen in 25 Gemeinden und Städten des Kantons Zürich und Quartieren der Stadt Zürich (Waldner et al., 2005)
- Datensatz mit 20000 Wohnungen, die zwischen 2003 und 2005 auf einem Immobilienportal publiziert wurden (ohne mieterspezifische Daten)

Diese beiden Datensätze wurden geokodiert und mit den vorhandenen räumlichen Daten verknüpft. Dazu zählen neben den rein topographischen Daten (Exposition, Seeanstoss, Erreichbarkeit, etc.) auch Variablen bezüglich der soziodemographischen Umgebung („Nachbarschaftsvariablen“). Die verknüpften Daten wurden in verschiedenen Tabellen abgelegt. Auf der Basis dieser Datensätze wurden das Mietpreismodell und die verschiedenen Standortwahlmodelle aufgebaut und die Berechnungen durchgeführt (vgl. Löchl et al. 2007a).

Ursprünglich war im Rahmen der vorliegenden Arbeit eine komplette Anwendung von UrbanSim geplant, um die Auswirkungen der Erreichbarkeitsveränderungen für die einzelnen Zeitzustände und Szenarien aufzuzeigen. Aus noch nicht geklärten technischen Gründen gelang es aber nicht, den UrbanSim-Code lauffähig zu installieren. Aus diesem Grund musste ein vereinfachtes Verfahren angewandt werden, das nachfolgend beschrieben wird.

Das Mietpreismodell für private Haushalte wird im vereinfachten Verfahren mit einem vereinfachten Parametersatz für die verschiedenen Zustände geschätzt. Dabei fliesst die Reisezeit zum CBD (Bürkliplatz) als einzige Erreichbarkeitsgrösse in die Modellierung ein. Eine komplette Neuschätzung des Standortwahlmodells für die verschiedenen Szenarien ist hingegen nicht möglich, da dafür eine Reihe von Parametern durch UrbanSim während der Simulationsläufe ermittelt werden (z.B. Anzahl gleicher Haushalte in der Umgebung). Aus diesem Grund wurde nur die Nutzendifferenz des Standortwahlmodells, die sich aus den veränderten Erreichbarkeitsvariablen des Modells ergeben, ermittelt und anschliessend die im Referenzzustand prognostizierte Verteilung der Bevölkerung auf die Verkehrszonen mit dem

Pivot-Point-Verfahren korrigiert. Die Standortentscheidungen von Unternehmen werden vernachlässigt. Ebenfalls vernachlässigt werden die Development Projects aus UrbanSim, also die Neueinzonungen von Bauland. Es wird sowohl für die heutigen Haushalte wie auch für den zukünftigen Zuwachs vom gleichen Standortwahlmodell ausgegangen. Mit dieser Vereinfachung fällt die Limitierung der Standortwahl durch die Zonenpolitik der Gemeinden vernachlässigt, es wird also davon ausgegangen, dass die Nachfrage das Angebot an Bauland bestimmt. Für die isolierte Beurteilung des Erreichbarkeitseffektes auf die Standortwahl ist diese Vereinfachung sinnvoll, da die Limitierung durch die Zonenpolitik allfällige Erreichbarkeitseffekte abschwächt. In Realität bleiben den Gemeinden natürlich die Instrumente der Raumplanung zur Steuerung ihrer Entwicklung, mit der Ausschaltung dieser Instrumente in der Modellierung wird aber der Druck der privaten Haushalte auf die Verfügbarkeit von Bauland aufgezeigt.

Als Basis für den jeweiligen Referenzzustand wird die Einwohnerverteilung gemäss Prognose des statistischen Amtes zugrunde gelegt. Diese zonenfeinen Werte werden anschliessend je nach Szenario neu verteilt. Vor einer Standortentscheidung stehen dabei nur die Haushalte mit dem Wunsch nach einer Standortveränderung, also umziehende Haushalte. Im ZUK-Projekt wurden diese Umzugswahrscheinlichkeiten für verschiedene Haushaltstypen gemäss Tabelle 12 geschätzt.

Tabelle 12 Umzugswahrscheinlichkeiten nach Einkommen und Altersklasse

Altersklasse des Haushaltsvorstandes	-29	30-44	45-64	65+
Tiefes Einkommen	0.3243	0.1430	0.0548	0.0478
Mittleres Einkommen	0.2802	0.1853	0.0673	0.0346
Hohes Einkommen	0.3208	0.1606	0.0719	0.0492

Quelle: Löchl et al., 2007b

Die Daten zu den Haushalten sind in der Tabelle Gridcells abgelegt. Die Verknüpfung dieser Daten mit den Verkehrszonen ist prinzipiell möglich, allerdings ist die Prognosetauglichkeit dieser Daten sehr eingeschränkt, da aufgrund der fortschreitenden Alterung eigentlich mit einem Kohortenmodell die Veränderung der Anteile der Altersklassen für die Zukunft ermittelt werden müssten. Da es sich um ein vereinfachtes Modell handelt, wurde hier auch eine bewusste Vereinfachung vorgenommen: Es wird mit den mittleren Einkommens- und Alterswerten gerechnet und die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten werden interpoliert.

4.1.2 Mietpreismodell

Die Mietpreise werden in UrbanSim mittels eines hedonischen Modells geschätzt. Dabei reflektiert der Mietpreis den Wert des Gutes „Wohnung“, der sich als Summe der wertbildenden Eigenschaften ermitteln lässt. Für das vereinfachte Vorgehen wurde gegenüber dem ZUK-Projekt ein verkleinerter Parametersatz geschätzt, der allerdings aufgrund der grossen Bedeutung der gewählten Parameter im Modell eine nur geringfügig tiefere Erklärungskraft aufweist. Statt eines R^2 von 0.459 wird ein immer noch sehr guter Wert von 0.442 erreicht. Die Erklärungskraft dieses Parametersatzes ist demnach ausreichend gut. Die geschätzten Parameter sind in Tabelle 13 zusammengestellt. Seedistanz und Besonnungsindex sind standortgebunden und bleiben für alle Szenarien konstant. Das monatliche Prokopfeinkommen wurde ebenfalls als konstant angenommen, da die Teuerung bei den Mobilitätskosten auch nicht berücksichtigt wurde und die Ermittlung der soziodemographischen Verschiebungen im vereinfachten Modell nicht möglich ist. Ebenfalls konstant angenommen wurden die Altersverteilung der Bauten und die Anzahl der Arbeitsplätze im Hotel- und Gastronomiebereich (NOGA Sektor 5). Für die verschiedenen Szenarien verändert sich demnach nur die logarithmierte MIV-Reisezeit zum Bürkliplatz. Der Mietpreis je Szenario ergibt sich als Summenprodukt aus den Parametern und den jeweiligen Ausprägungen der einzelnen Variablen.

Tabelle 13 Modellparameter Mietpreismodell

Variable	Einheit	Parameter	Bemerkungen
Konstante	-	28.309	
Ln Reisezeit MIV zum Bürkliplatz	min	- 5.019	
Ln Distanz zum nächsten grösseren See	km	-0.594	Seen grösser 1 km^2
Anzahl Arbeitsplätze im Sektor NOGA 5	100	0.138	AP im Gastrobereich
Monatliches Prokopfeinkommen / 1000	CHF	0.133	
Anteil vor 1971 gebauter Gebäude	-	0.052	Prozentualer Anteil
Besonnungsindex / 100	-	0.710	

Quelle: Neuschätzung Parameter auf Basis Löchl et al., 2007b

Die im ZUK-Projekt noch enthaltene Variable der ÖV-Erreichbarkeit von Arbeitsplätzen entfällt bei diesem vereinfachten Set. Der Mietpreis wird demnach hinsichtlich Erreichbarkeit nur durch die Reisezeit mit dem Auto zum Bürkliplatz in Zürich bestimmt.

4.1.3 Standortwahlmodell

Die Standortwahl der privaten Haushalte wird in UrbanSim mittels eines multinominalen Logit-Modells abgebildet, wobei die Standorte aus einem Sample von verfügbaren freien Standorten (neu eingezonte im Rahmen eines Development Projects und frei gewordene infolge Umzugs eines Haushalts) aufgrund der Präferenzen des einzelnen Haushalts gewählt werden. Die Entscheidung lässt sich mit einer Nutzenfunktion modellieren, die sich aus einem erklärbaren Nutzen und einem nicht erklärbaren Term ε zusammensetzt. Unter der Annahme der Normalverteilung des nicht erklärbaren Anteils ergibt sich die Standortwahl als Funktion des Nutzens eines Standortes.

Zur Ermittlung der β-Parameter wurde jede getroffene Standortentscheidung in den letzten fünf Jahren zwanzig bis fünfzig im selben Zeitraum nicht gewählten Alternativen aus der Immobiliendatenbank zugespielt. Für alle gewählten und nicht gewählten Alternativen wurden anschliessend Nutzenfunktionen beschrieben, die Variablen von Mietobjekt, Standort und Entscheider enthielten. Die Nutzenfunktionen wurden wo immer möglich linear formuliert, in einzelnen Fällen mussten logarithmische Formulierungen für bestimmte Variablen verwendet werden. Nachstehend ist ein einfaches Beispiel einer entsprechenden Nutzenfunktion dargestellt, wobei die logarithmische Formulierung der Variable „Distanz zum Arbeitsplatz“ den grösseren Einfluss dieser Grösse im Nahbereich widerspiegelt (abnehmender Grenznutzen).

$$Nutzen_{ik} = \beta_{MIETE} * miete_k + \beta_{LÄRM} * lärm_k + \beta_{DISTANZ\text{-}ARBEIT} * (distanz\text{-}arbeit_{ik})^{\beta_EXPONENT}$$

i: Index des Haushalts, der die Entscheidung trifft
k: Index des Standorts der Alternative

Es wurden zwei Standortwahlmodelle mit zwei verschiedenen Datensätzen entwickelt. In einem ersten Schritt wurden alle aus Haushaltsbefragung und der Auswertung des Immobilienportals bekannten Daten zur Schätzung eines allgemeinen Modells verwendet. In einem zweiten Schritt wurde das Modell spezifisch auf UrbanSim angepasst, indem ein Modell aus denjenigen Attributen geschätzt wurde, die endogen in der Simulation enthalten sind.

In nachfolgender Tabelle sind die mobilitätsrelevanten Parameter aus dem ZUK-Projekt zusammengestellt. Alle Variablen sind dabei auf 1%-Niveau signifikant, mit Ausnahme von „Ln (Distanz zur nächsten Autobahnausfahrt in km)“ (signifikant auf 5%-Niveau) und „Autobahn innerhalb von 100m (Dummy)“ (signifikant auf 10%-Niveau).

Tabelle 14 Erreichbarkeitsvariablen im Wohnstandortwahlmodell

Variable	Allgemeines Modell	UrbanSim
Miete pro m2 (CHF/Monat)	0.018	-0.598
Ln (Autoreisezeit zum Bürkliplatz) (min)	0.018	-3.335
Ln (Erreichbarkeit von Bevölkerung mit ÖV) mal Dummy „kein Auto“	0.570	0.600
Entfernung zum Arbeitsort (km)	-5.459	
Exponent der Entfernung zum Arbeitsort	0.167	
Ln (Distanz zur nächsten Autobahnausfahrt in km)		0.119
Ln (Distanz zur nächsten Bahnstation in km)		-0.115
Befahrene Bahnstrecke innerhalb von 50m (Dummy)		-0.933
Autobahn innerhalb von 100m (Dummy)		-0.400
Erhöhtes Lärmniveau (Dummy)	-0.236	

Quellen: Löchl et al., 2007a

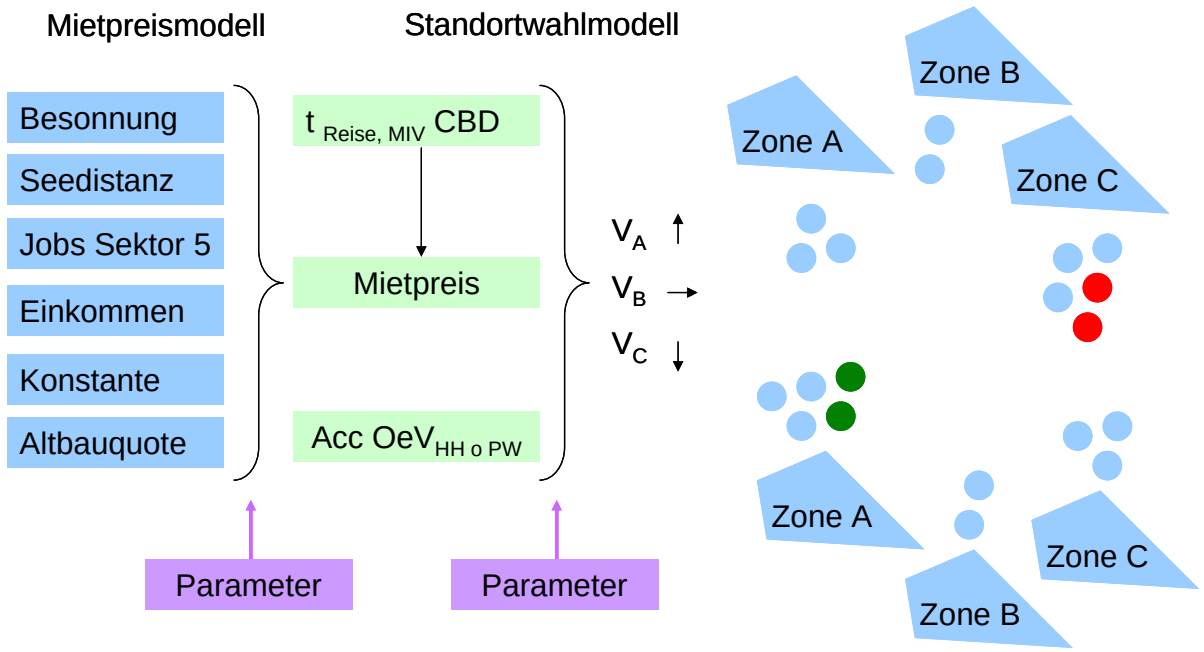
Aus den verwendeten Variablen sind sofort grosse Unterschiede in der Modellierung der Erreichbarkeit bei beiden Modellen ersichtlich. Das allgemeine Modell misst die Erreichbarkeit einer Wohnung vor allem über die Entfernung zum Arbeitsort. Dieses Vorgehen ermöglicht die Modellierung langfristiger Standortentscheidungen einer soziodemographischen Gruppe infolge von Strukturwandel einer Branche oder Umzug grösserer Unternehmen. Für die Implementierung von UrbanSim ist die Variable allerdings ungeeignet, da die erforderlichen Daten nur im relativ kleinen Datensatz der Haushaltsbefragung zur Verfügung stehen. Zudem ist in UrbanSim bis jetzt kein Gefäss enthalten, um diesen Zusammenhang von Wohn- und Arbeitsort integrieren zu können. Die Variable „Autoreisezeit zum Bürkliplatz“ weist erstaunlicherweise ein positives Vorzeichen auf, was die fortschreitende Zersiedlung im Grossraum Zürich erklären könnte (Löchl et al., 2007a).

Bei der Implementierung wurde wie erwähnt auf die bezüglich Entscheider unabhängigeren Erreichbarkeitsvariablen zurückgegriffen: Einerseits wird die Autoreisezeit zum Bürkliplatz als geographischem Zentrum des Grossraums in die Modellierung signifikant und ändert das Vorzeichen, andererseits ist die Variable der ÖV-Erreichbarkeit für captive riders (Personen

ohne Autobesitz) wie auch bereits beim allgemeinen Modell signifikant. Die Variable „Distanz zur nächsten Bahnstation in km“ bildet den Erschliessungsgrad ab, allerdings geht bei dieser Variable die Angebotsqualität an der entsprechenden Station verloren, weshalb die Aussagekraft hinsichtlich ÖV-Erschliessungsgüte beschränkt ist. Die Variable „Distanz zur nächsten Autobahnausfahrt“ weist ein positives Vorzeichen auf: Das Wohnen in unmittelbarer Nähe eines Anschlusses wird aufgrund der damit verbundenen Belastungen negativ beurteilt, allerdings ist auch diese Nutzenfunktion wie die meisten Erreichbarkeitsgrössen logarithmisch formuliert, so dass der Einfluss auf die Entscheidung schnell abnimmt.

Ohne komplette Anwendung des UrbanSim-Programmcodes ist der Nutzen für die verschiedenen Standorte kaum berechenbar, da zwischen den Entscheidungen und der Ausprägung der Variablen Abhängigkeiten bestehen (v.a. Nachbarschaftsvariablen), die iterativ durch das Programm berechnet werden müssen. Aus diesem Grund wurde ein vereinfachtes Standortwahlmodell entwickelt, dessen Funktionsweise in Abbildung 14 dargestellt ist.

Abbildung 14 Funktionsweise der vereinfachten Standortwahlmodellierung



Über den gemäss oben beschriebenem Verfahren ermittelten Mietpreis und die Erreichbarkeitsvariablen und unter Anwendung der Parameter aus dem spezifischen UrbanSim-Standortwahlmodell gemäss Tabelle 14 werden die partiellen Nutzendifferenzen für die verschiedenen Standorte geschätzt, ohne dass der Gesamtnutzen der verschiedenen

Standorte berechnet werden muss. Anschliessend wird das Pivotpoint-Verfahren, das auch bei der Ermittlung der intermodalen Effekte verwendet wird, angewandt, um die vor einer Standortentscheidung stehenden Haushalte entsprechend der Nutzendifferenzen neu zu verteilen. Die Zahl der entsprechenden Haushalte je Jahr wird gemäss Tabelle 12 abgeschätzt.

$$P(k) = \frac{P_0(k) \cdot e^{\beta(GK_k - GK_{0k})}}{\sum_l P_0(l) \cdot e^{\beta \cdot (GK_l - GK_{0l})}} \quad (l = 1, \ldots, m)$$

mit P(k) Zahl der Haushalte, die sich neu für einen Standort in der Zone k entscheiden
$P_0(k)$ Zahl der Haushalte der Zone k, die vor einer Standortentscheidung stehen
GK Generalisierte Kosten eines mittleren Standortes in der Zone k
β Gewichtungsfaktor (=1.0)

Das vereinfachte Pivot-Point-Verfahren beschränkt sich bei der Ermittlung der generalisierten Kosten eines Standortes auf die Differenzen der MIV-Reisezeit zum Bürkliplatz, der ÖV-Erreichbarkeit für Haushalte ohne Auto sowie die Mietpreisdifferenz, die aus den Resultaten des Mietpreismodells gemäss Kapitel 4.1.2 errechnet werden kann. Vernachlässigt wird die Veränderung der Lärmbeeinträchtigung durch Strasse und Bahn. Einerseits sind bei den verschiedenen Szenarien wenig neue Infrastrukturen in der Nähe von Siedlungsgebieten geplant, andererseits werden Neubaustrecken bei Bahn und Strasse heute mit grosser Rücksicht auf die Lärmbelastung gebaut, so dass bei dieser Variable im Zukunft von einer Stagnation ausgegangen werden kann. Vernachlässigt wird weiter die Variable, die die Distanz zum nächsten Bahnhof beinhaltet, da keine neuen Bahnhöfe geplant sind, sowie die Variable der Distanz zum nächsten Autobahnanschluss, da diese bereits im ZUK-Projekt mit anderen Erreichbarkeitsvariablen korreliert.

4.2 Neuberechnung der Nachfragematrizen

Die Nachfragematrizen für die zukünftigen Zustände werden nicht mit VISEVA neu geschätzt, da eine vollständige Neuschätzung einen grossen Datenbedarf an Prognosedaten der Siedlungsstrukturen voraussetzen würden, die in dieser Form für die Arbeit nicht vorlagen. Die einzelnen Teilmodelle zur Neuberechnung der Nachfragematrizen, die angewendet werden, werden im Folgenden beschrieben.

Das Potential- und Zielwahlmodell für die zukünftigen Zustände wird über die Wachstumsfaktoren aus den Prognosen des statistischen Amtes ermittelt. Als Verfahren wird der zweiseitig gekoppelte Randsummenausgleich (so genanntes Multi-Verfahren) gewählt. Dabei wird ein gemittelter Wachstumsfaktor aus dem Wachstum an Arbeitsplätzen und demjenigen an Einwohnern ermittelt, wobei Einwohner und Arbeitsplätze gleich gewichtet werden. Anschliessend werden die Fahrten zwischen einem Quell- und einem Zielbezirk so hochgerechnet, dass zwischen den beiden Wachstumsfaktoren gemittelt wird. Die Matrix wird dabei in maximal zehn Iterationsschritten ausgeglichen, bis der Quotient der Randsummen möglichst genau dem jeweiligen Hochrechnungsfaktor entspricht. Dieses Verfahren lehnt sich bei der Hochrechnung stark an den Pendlerverkehr an (nur Berücksichtigung von Einwohnern und Arbeitsplätzen), weitere mögliche Attraktionspotentiale (Einkaufsmöglichkeiten, Freizeitangebote) werden bei der Hochrechnung nur über die Zahl der Arbeitsplätze und nicht über das Kundenpotential berücksichtigt.

Zur Abschätzung der angebotsseitigen intermodalen Effekte – also der Verschiebungen der Verkehrsmittelanteile je Beziehung aufgrund veränderter Verhältnisse der Widerstand der beiden Verkehrsmodi zueinander – wird das Pivot-Point-Verfahren angewendet, dass in Ortuzar und Willumsen, 2001 beschrieben wird. Dabei werden die jeweiligen Verkehrsmittelanteile je Beziehung gemäss nachfolgender Formel neu geschätzt:

$$P(k) = \frac{P_0(k) \cdot e^{\beta(GK_k - GK_{0k})}}{\sum_l P_0(l) \cdot e^{\beta \cdot (GK_l - GK_{0l})}} \quad (l = 1, \ldots, m)$$

mit P_0 Verkehrsmittelanteil der Beziehung im Ausgangszustand
GK Generalisierte Kosten aus Kenngrössen gemäss Kapitel 3.4
β Gewichtungsfaktor (=1.0)

Um diese Neuschätzung vornehmen zu können, ist jeweils eine Primärumlegung der beiden mit dem Randsummenausgleich hochgerechneten Matrizen auf den neuen Netzen notwendig. Anschliessend werden die Modellparameter zur Ermittlung der Erreichbarkeit gemäss Kapitel 3 ausgelesen und das Pivot-Point-Verfahren wird für alle Beziehungen angewandt. Die so um die intermodalen Effekte bereinigten Matrizen werden anschliessend zur Ermittlung der Erreichbarkeiten in der eigentlichen Umlegung verwendet.

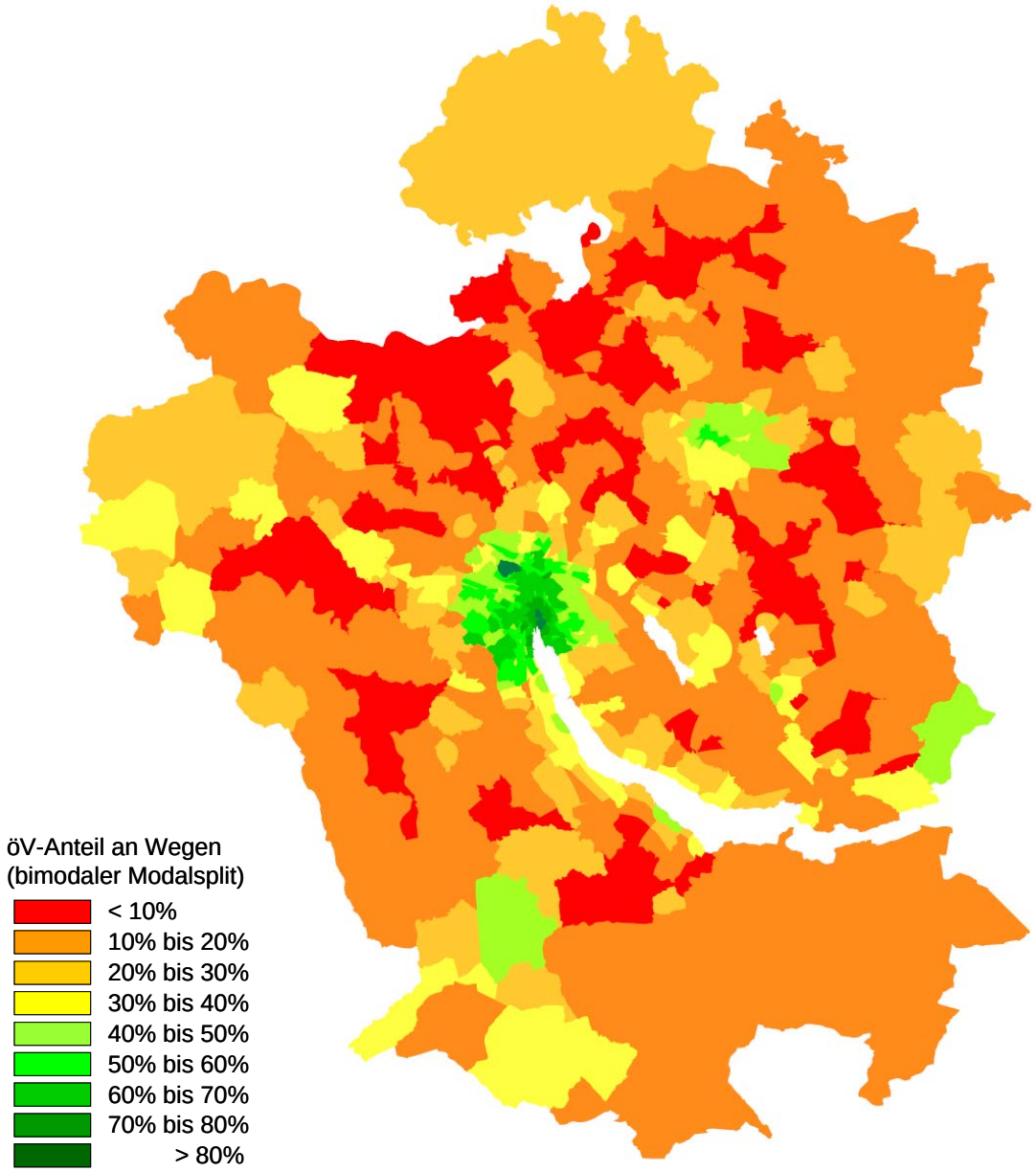
Neben den angebotsseitigen intermodalen Effekten ergeben sich auch aufgrund nachfrageseitiger intermodaler Effekte Verschiebungen zwischen den Verkehrsmittelanteilen. Darunter versteht man die Veränderungen der Verkehrsmittelwahl durch die mikroskopische Veränderung der Erschliessungsqualität von MIV und ÖV innerhalb einer Verkehrszone, zum Beispiel weil die neu erstellten Siedlungsgebiete innerhalb einer Zone weiter von der zugeordneten ÖV-Haltestelle entfernt liegen. Da mit UrbanSim keine Angaben zur parzellenscharfen Verteilung der Siedlungsstrukturen innerhalb einer Zone gemacht werden können, werden diese Effekte vernachlässigt.

5 Resultate nach Szenarien

5.1 Basisszenario 2003

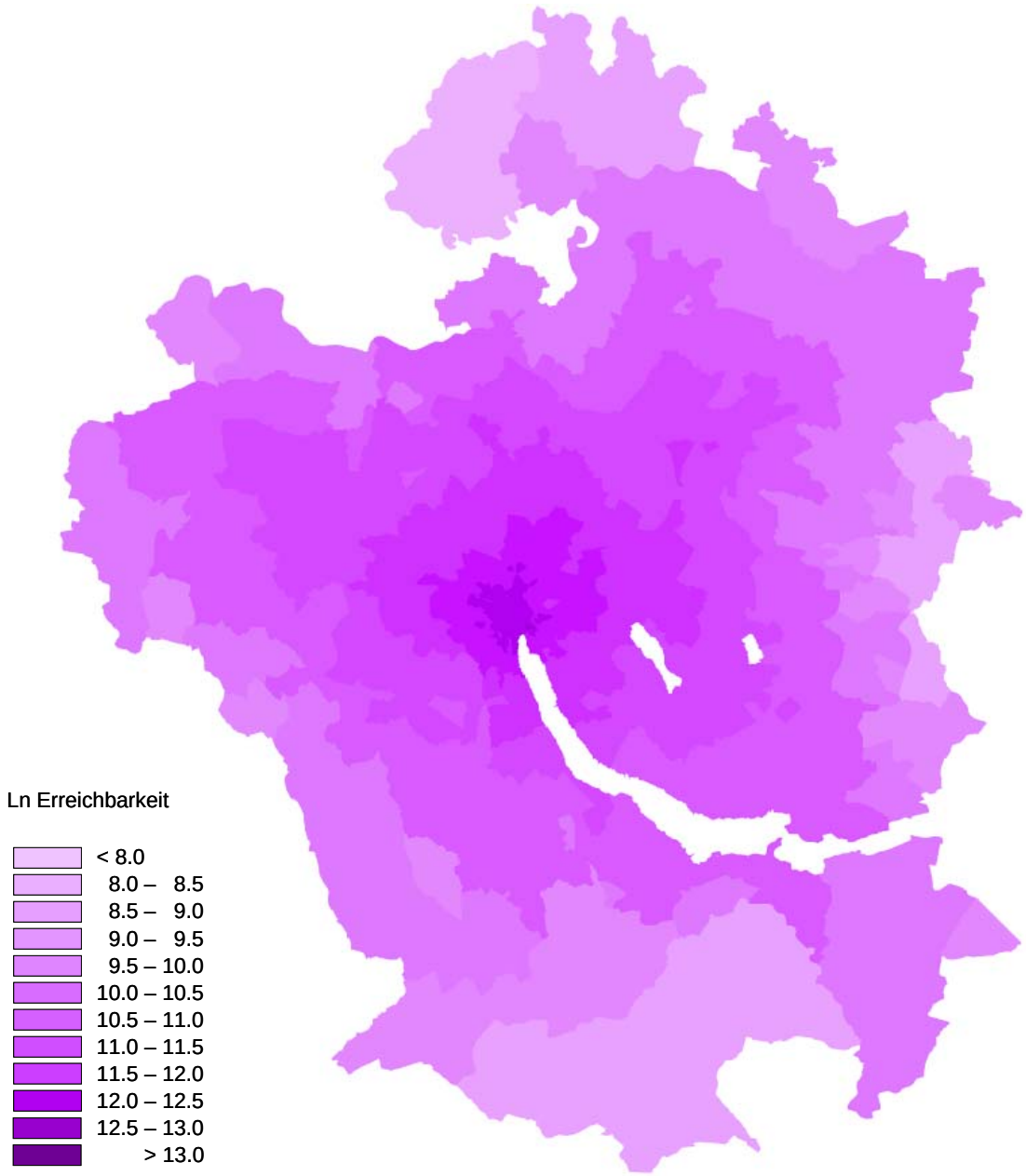
Das Referenzszenario 2003 umfasst das heutige Verkehrsnetz. Der Modalsplit ist im dicht besiedelten inneren Agglomerationsgürtel um Zürich besonders hoch, ebenso, wenn auch bereits etwas tiefer, in Winterthur und Zug.

Abbildung 15 Referenzzustand 2003 - Modalsplit



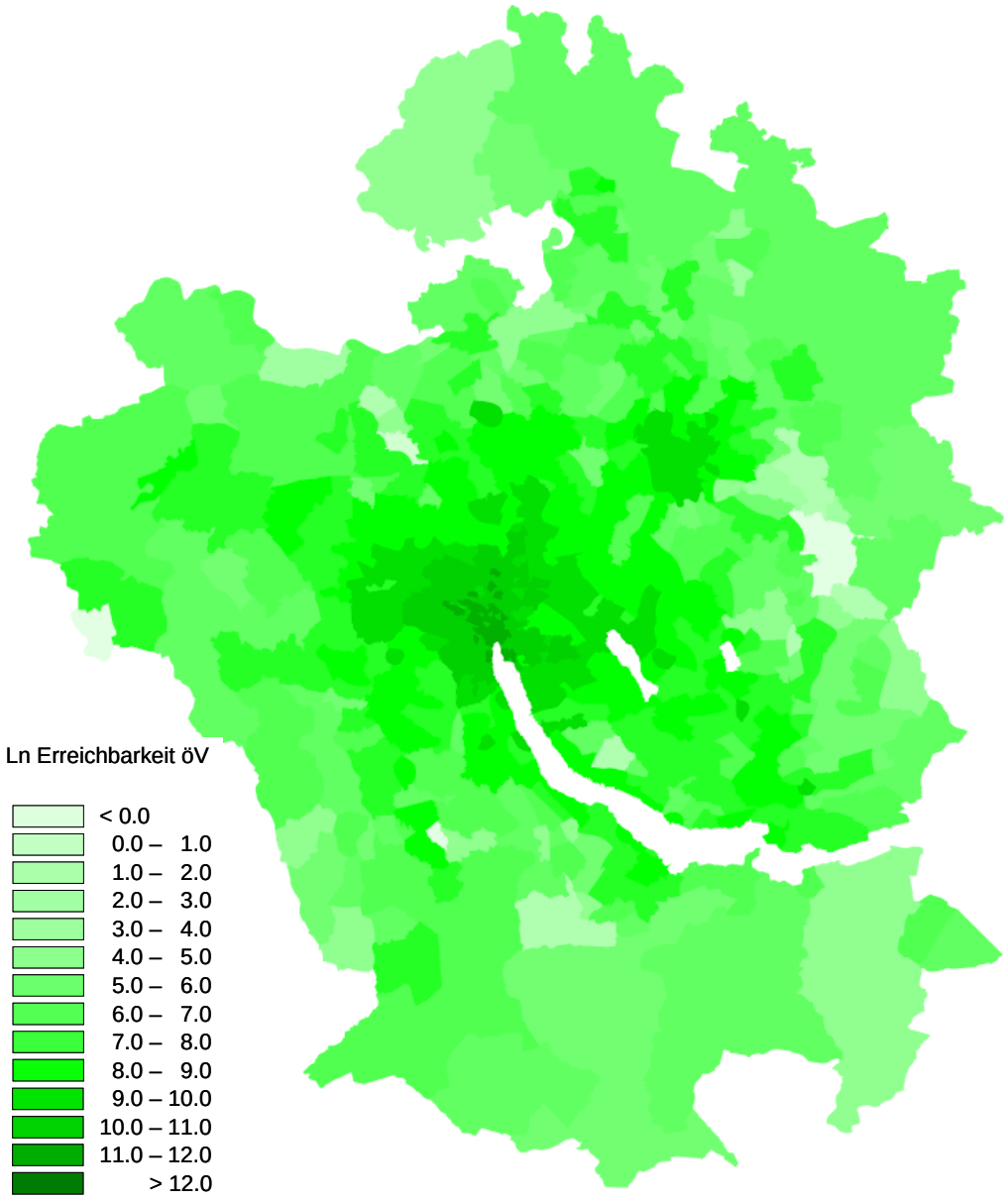
Die Erreichbarkeit ist geprägt durch den Anteil des MIV. Logarithmiert liegt die mittlere Erreichbarkeit des Strassenverkehrs über alle Bezirke um 2.7 über derjenigen des öffentlichen Verkehrs, was unlogarithmiert einem Faktor 15 entsprechen würde. Der Beitrag des öffentlichen Verkehrs zur Erreichbarkeit ist also klein. Entsprechend verläuft das Erreichbarkeitsgebirge entlang der grossen HLS-Achsen etwas weiter in die Peripherie hinaus und wird allgemein ausschliesslich durch die Reisezeit mit dem Auto ins Zentrum von Zürich bestimmt.

Abbildung 16 Referenzzustand 2003 – Intermodale Erreichbarkeit



Betrachtet man die Erreichbarkeit des öffentlichen Verkehrs alleine, ergibt sich ein differenzierteres Bild. Durch die eingeschränkte örtliche Verfügbarkeit des öffentlichen Verkehrs sind die Konturen um die dicht erschlossenen Gebiete viel deutlicher zu erkennen als bei der Erreichbarkeit des MIV und der dadurch dominierten intermodalen Erreichbarkeit.

Abbildung 17 Referenzzustand 2003 – Erreichbarkeit mit öffentlichem Verkehr

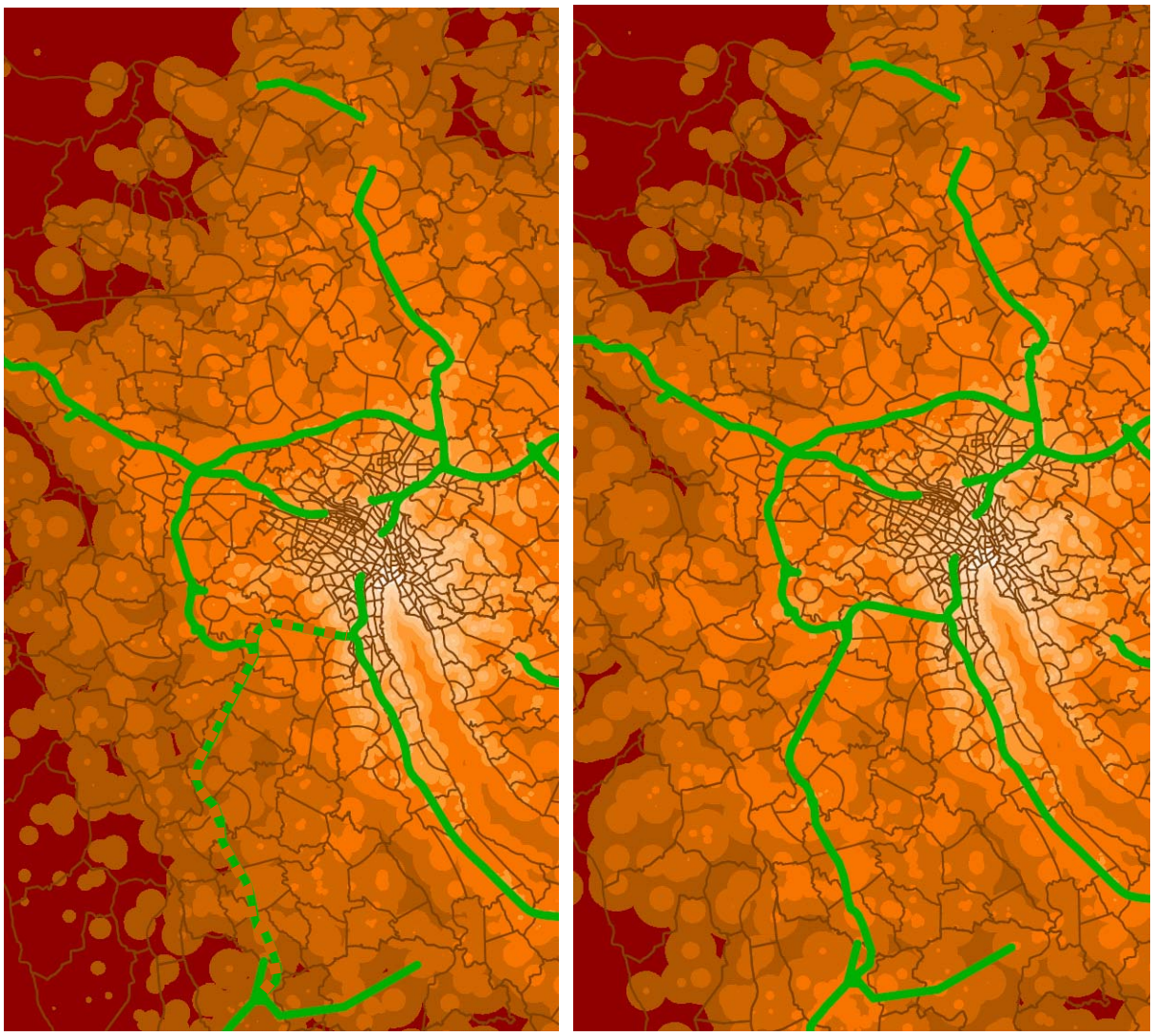


5.2 Basisszenario 2010

Im Basisszenario 2010 ist die Westumfahrung Zürich fertig gestellt. Dieser Ausbau reduziert die MIV-Reisezeiten vom Knonauer Amt nach Zürich und für den Ost-West-Transitverkehr deutlich. In Abbildung 18 sind exemplarisch die Reisezeiten zum Bürkliplatz für die beiden Zustände 2003 und 2010 dargestellt. Im Knonauer Amt werden demnach neu Reisezeiten analog zum Unterland und zum Bezirk Höfe SZ erreicht, zudem verkürzen sich die Reisezeiten aus dem östlichen Aargau und dem Kanton Zug ebenfalls deutlich.

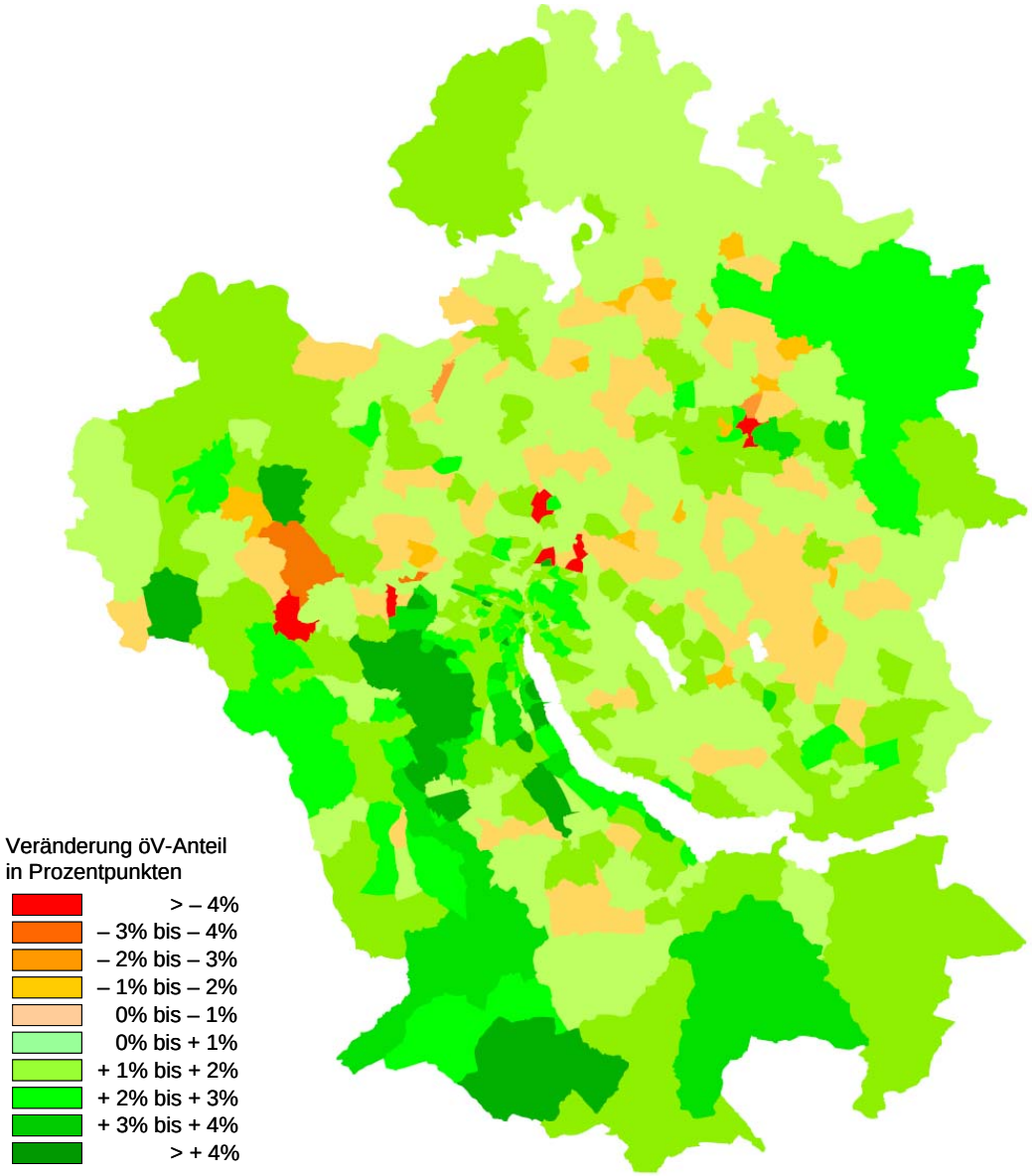
Abbildung 18 Reisezeiten MIV zum Bürkliplatz für Ist 2003 und Basis 2010

Ist 2003 Basis 2010



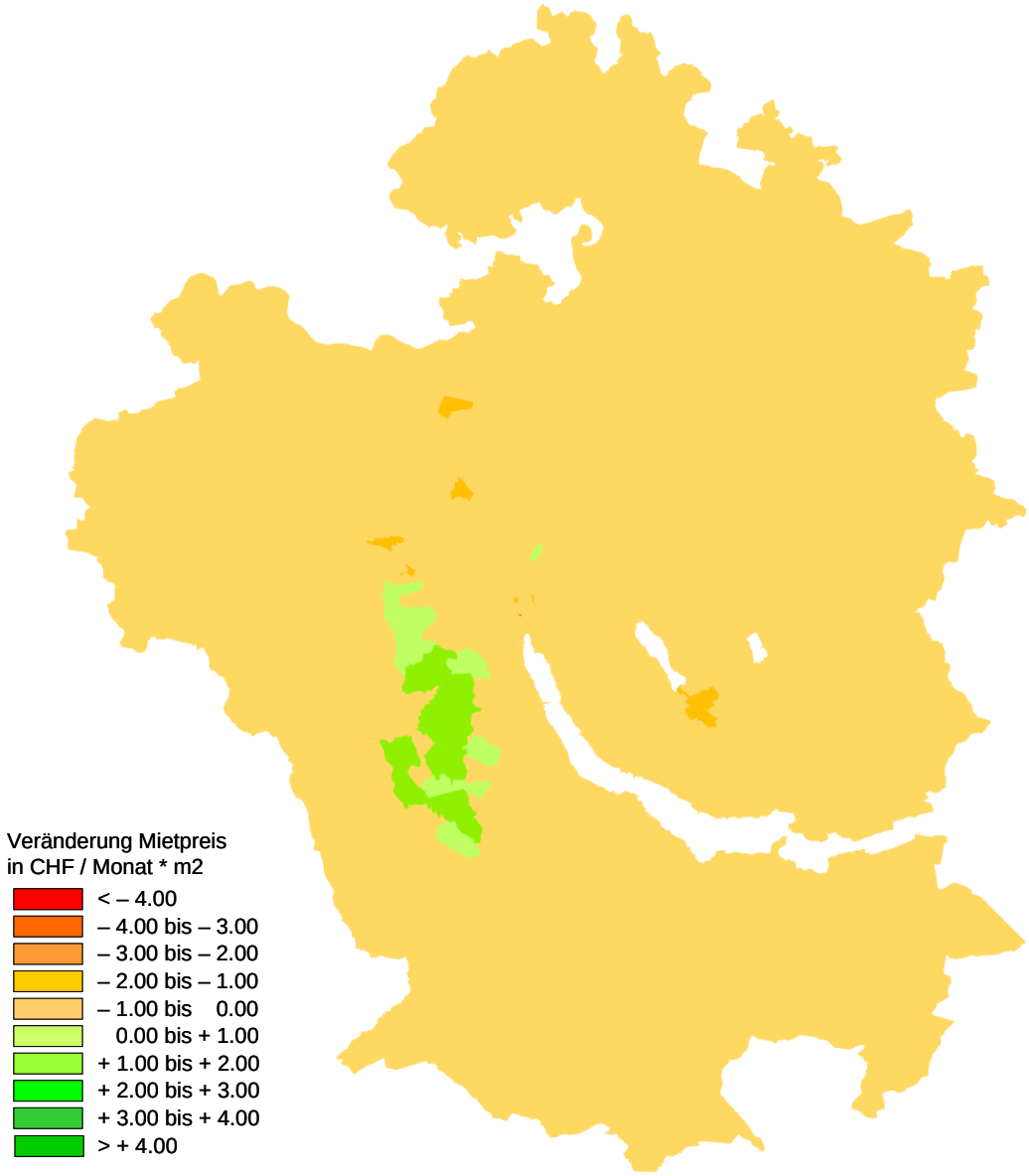
Durch die bessere Erreichbarkeit mit dem MIV aus diesen Gebieten sinkt der Modalsplit im ganzen Untersuchungsraum geringfügig. Durch die geplanten flankierenden Massnahmen zur Westumfahrung steigt der ÖV-Anteil in den unmittelbar entlang der Linienführung gelegenen Gebiete allerdings sogar deutlich an, da sich die Reisezeit in die Stadt aus diesen Gebieten überproportional vergrössert. Zudem entfaltet in diesem Gebiet auch die neue S15 von Affoltern nach Zürich ihre Wirkung. Weiter südlich im Knonauer Amt sinkt dagegen der Modalsplit aufgrund der neuen A4. In den suburbanen Gebieten im Westen und Norden der Stadt Zürich nimmt der ÖV-Anteil auch deutlich ab. Vermutlich führt die Westumfahrung hier dazu, dass auf dem bestehenden Strassennetz wieder grössere Kapazitäten frei werden.

Abbildung 19 Basis 2010: Differenz Modalsplit zu Ist 2003



Durch die Verringerung der Reisezeiten aus dem Knonauer Amt steigen dort die Mietpreise um 1 bis 2%, wie Abbildung 20 zeigt. Nicht berücksichtigt sind dabei die steigenden Mietpreise in Zürich-West, die durch die Attraktivitätssteigerung infolge geringerer Immissionen realisiert werden.

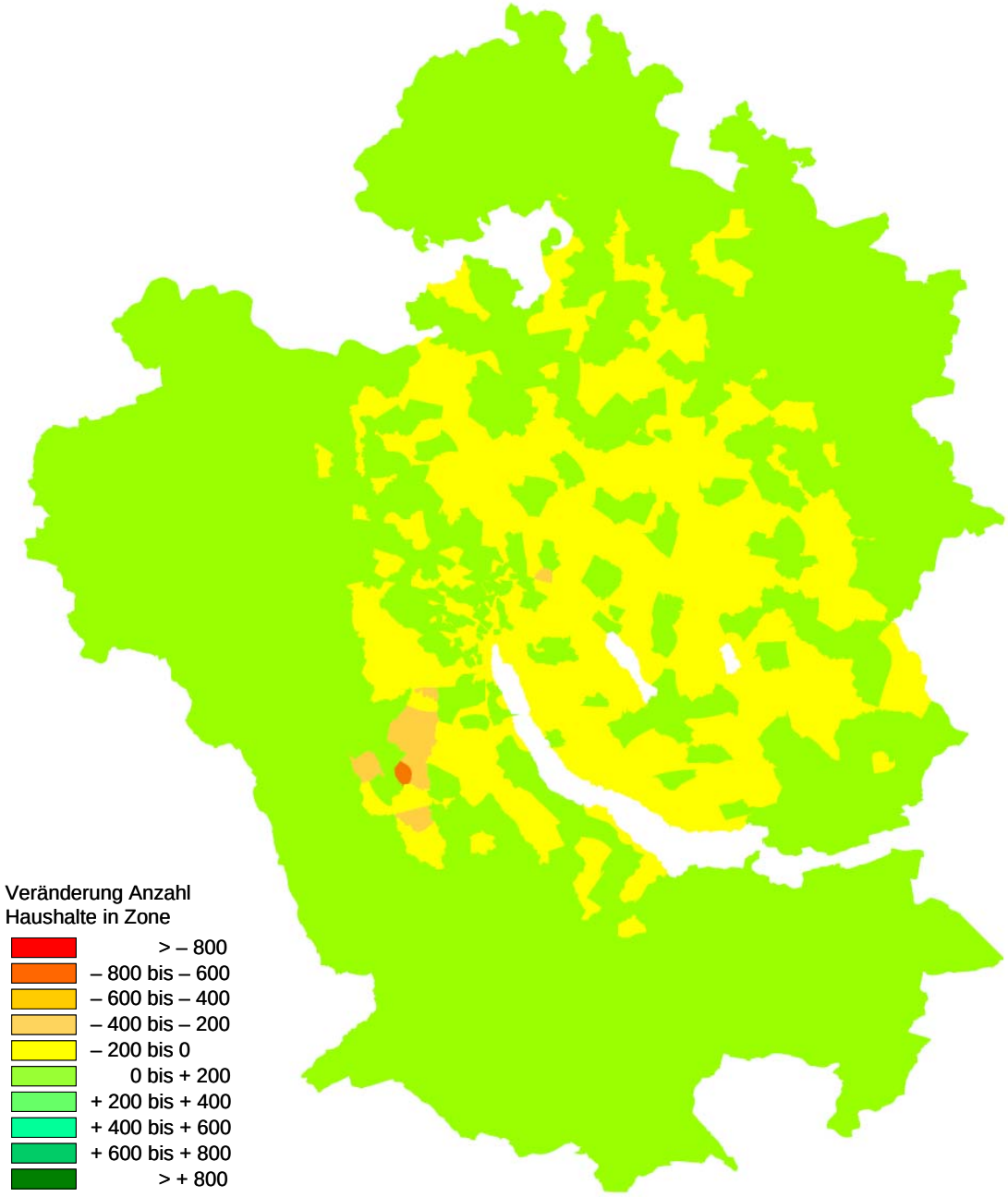
Abbildung 20 Basis 2010: Differenz Mietpreise zu Ist 2003



Die steigenden Preise limitieren allerdings auch das Wachstumspotential: Die steigenden Preise wirken sich negativ auf den Standortnutzen aus. In den durchgeführten Berechnungen wirken sich die Mietpreisanstiege übermässig aus und führen in Affoltern, Hedingen und Bonstetten sogar zu Rückgängen der Bevölkerung, die nicht den Erwartungen entsprechen.

Zudem werden in den Gemeinden im östlichen Aargau, die ebenfalls von kleineren Reisezeiten profitieren, keine übermässigen Zuzüge festgestellt. Da die Gesamtmenge an Einwohnern konstant gehalten wird, resultieren als Folge der erwähnten Wegzüge insbesondere in anderen peripheren Gebieten Zuwächse, die nicht zu erwarten sind.

Abbildung 21 Basis 2010: Zu- und Wegwanderungen gegenüber Referenz 2010



Die beschriebene Diskrepanz ist vermutlich auf folgende Faktoren zurückzuführen:

- Ein Anstieg der Mietpreise zieht oft eine andere Klientel in die betreffenden Räume, die auch eine höhere Steuerkraft aufweist, was sich wiederum positiv auf den Steuerfuss auswirkt. Dieser Faktor wird im vereinfachten Verfahren nicht berücksichtigt.
- Die flankierenden Massnahmen in den erwähnten Gemeinden des Knonauer Amtes erhöhen die Reisezeit nach Zürich für den Ziel-/Quellverkehr, ohne dass die positiven Effekte (Reduktion der Immissionen) in Rechnung gestellt werden.

Tabelle 15 Basisszenario 2010 – Wichtige Kennzahlen

Kennzahl	Einheit	Basis 2010	Δ zu Basis 2003
Gesamtmobilität(MIV und ÖV)	Mio. Wege	3.971	+ 4.0%
Modalsplit (Wegeanteil ÖV)	%	33.5%	- 0.1%
Mittlere Erreichbarkeit MIV (log)	-	11.091	+ 6.7%
Mittlere Erreichbarkeit ÖV (log)	-	8.383	+ 5.6%

5.3 Basisszenario 2020

Das Basisszenario 2020 unterscheidet sich nur marginal vom Basisszenario 2010, da keine neuen Infrastrukturen und Angebote zusätzlich realisiert werden. Das induzierte Wachstum in peripheren Regionen und die flankierenden Massnahmen in den heute dicht besiedelten Gebieten führen allerdings ceteris paribus dazu, dass die Siedlungsentwicklung weiter in peripheren Gebieten stattfindet und die Verkehrsleistung des MIV überproportional zunimmt. Ohne andere raumplanerische Massnahmen dürfte die Zersiedelung daher weiter zunehmen.

Tabelle 16 Basisszenario 2020 – Wichtige Kennzahlen

Kennzahl	Einheit	Basis 2010	Δ zu Basis 2003
Gesamtmobilität(MIV und ÖV)	Mio. Wege	4.146	+ 6.8%
Modalsplit (Wegeanteil ÖV)	%	33.3%	- 0.3%
Mittlere Erreichbarkeit MIV (log)	-	11.118	+ 9.6%
Mittlere Erreichbarkeit ÖV (log)	-	8.412	+ 8.7%

5.4 Szenarien 2020

Durch die nötig gewordene Anwendung eines vereinfachten Verfahrens ist die Qualität der Resultate der einzelnen Szenarien im Zustand 2020 schlechter als geplant. Zudem ist bei der Verkehrsmodellierung ein Fehler aufgetreten, der erst kurz vor Abschluss der Arbeit erkannt wurde: Bei den Modellrechnungen des Referenzzustandes und des Szenarios 2 ist der ÖV-Nutzen des Bezirks 977 (Wohlenschwil) extrem hoch, so dass praktisch das ganze Verkehrsaufkommen aus dieser Zone den ÖV benutzt. Der gesamte ÖV-Anteil im Modellgebiet fällt bei diesen Zuständen gegenüber dem Szenario 1 um rund einen halben Prozentpunkt zu hoch aus.

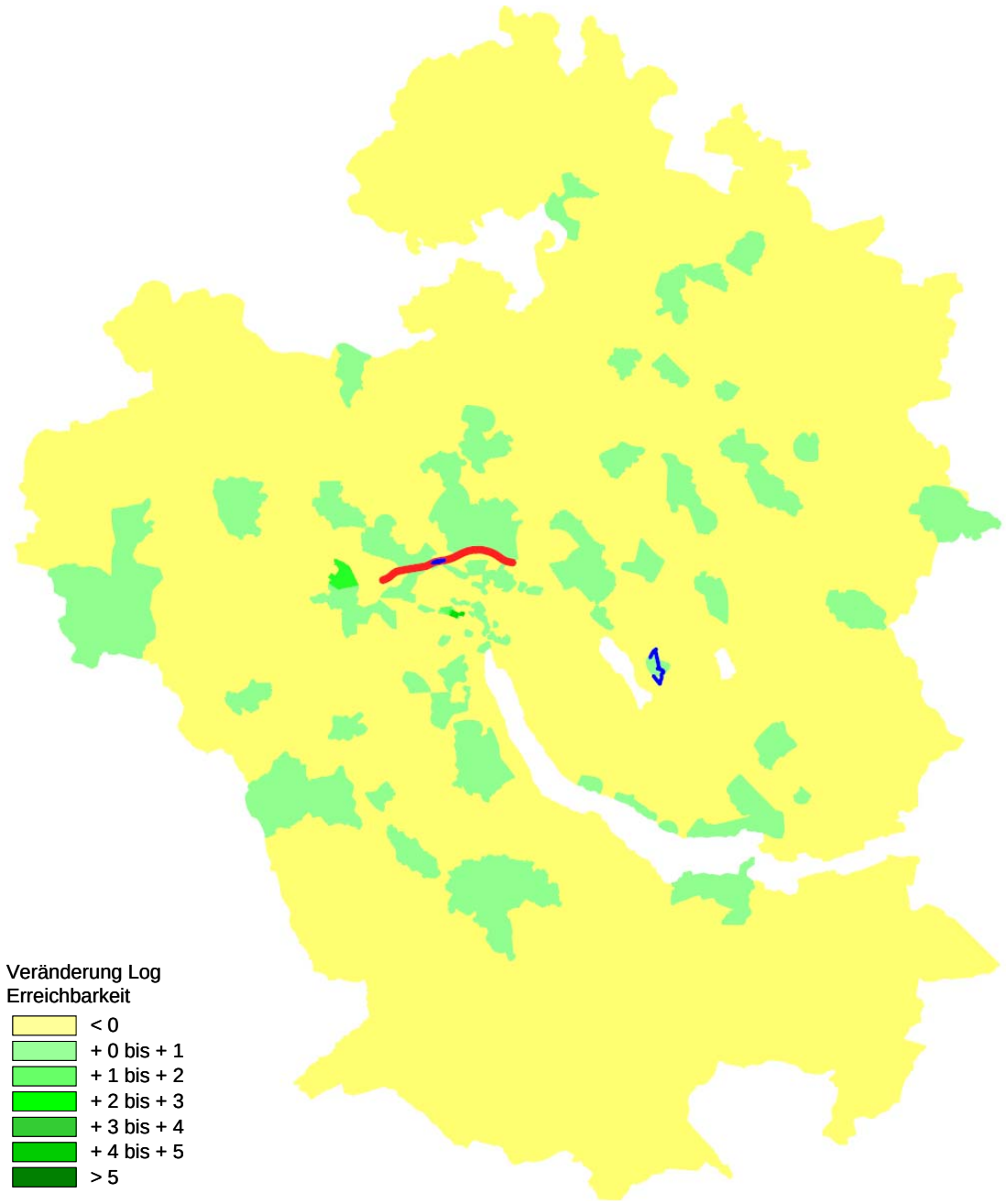
Trotz dieses Fehlers und der verfahrensbedingten Vereinfachung sollen nachfolgend die wichtigsten Erkenntnisse kurz beschrieben werden und es wird eine grobe Interpretation der Ergebnisse vorgenommen.

5.4.1 Szenario 1 2020

Die ZVV-Vision hat zum Ziel, die peripheren Gebiete des Grossraums Zürich häufiger mit der S-Bahn zu bedienen und durch eine Erhöhung der Anzahl Linien mehr Direktverbindungen zwischen verschiedenen Räumen bereitzustellen. Reisezeit- oder Distanzverkürzungen sind hingegen nicht zu erwarten, die Zugangszeiten zur S-Bahn verändern sich ebenfalls nicht, da keine neuen Stationen geplant sind. Einen Einfluss auf die räumliche Situation üben demnach von den Parametern aus Tabelle 11 nur der Takt (formuliert als erweiterte Anpassungszeit) und die Umsteigehäufigkeit aus.

Wie bereits beim Referenzszenario 2010 erläutert, ist der Einfluss des öffentlichen Verkehrs auf die gesamte Erreichbarkeit gering. Dementsprechend sind die Veränderungen der intermodalen Erreichbarkeit durch die ÖV-Angebotsausbauten der ZVV-Vision äusserst gering. Veränderungen ergeben sich beim Szenario 1 nur durch die parallel dazu geplanten Strassenbauvorhaben (Ausbau Nordumfahrung, Umfahrung Uster).

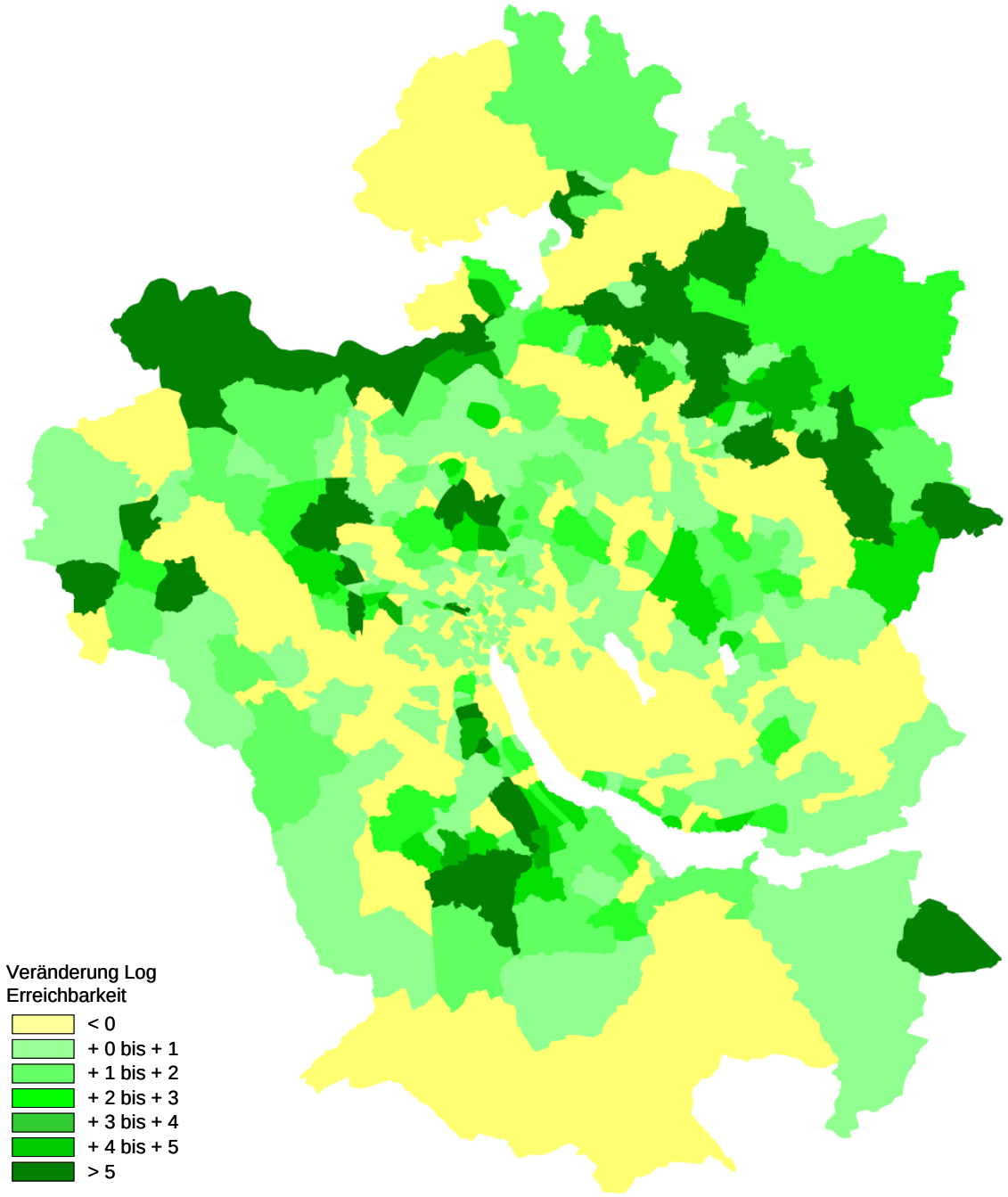
Abbildung 22 Szenario 1 2020: Veränderung Erreichbarkeit vgl. mit Referenz



Betrachtet man nur die Erreichbarkeit des öffentlichen Verkehrs, so sind die Auswirkungen des Angebotsausbaus erwartungsgemäss deutlich erkennbar: Entlang des Rheins (Zürcher Unterland und unteres Aargauer Aaretal), um Winterthur, im Weinland und Richtung Thurgau, im Oberland sowie entlang des linken Zürichseeufers und im südlichen Knonauer Amt steigt die Erreichbarkeit überall deutlich an. Diese Gebiete werden mit Umsetzung der ZVV-Vision häufiger bedient und es stehen mehr Direktverbindungen in andere periphere

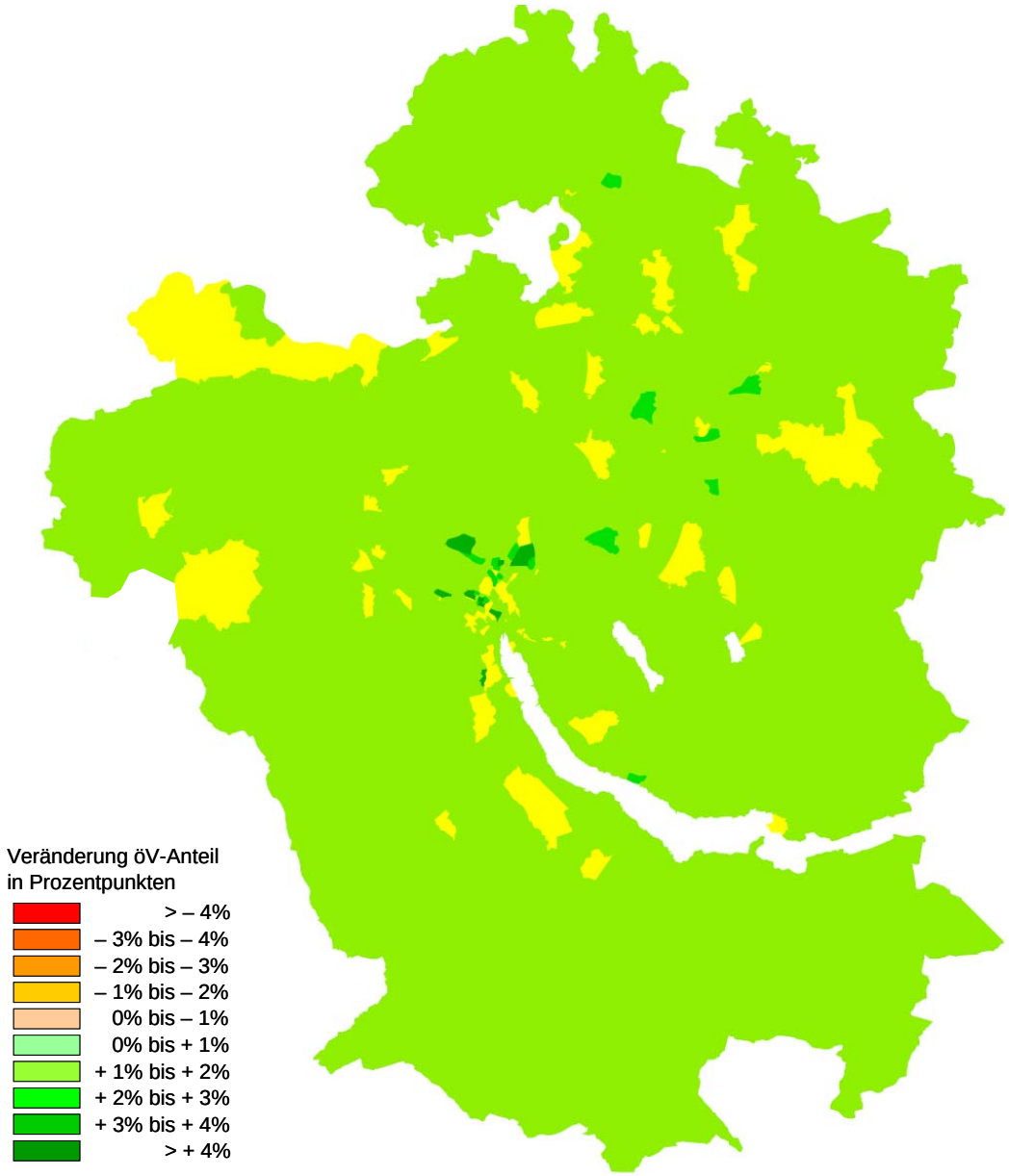
Gebiete zur Verfügung. In der Stadt Zürich ist der Effekt durch das neue Tram Zürich West besonders hoch, die Erreichbarkeit dieser Gebiete mit dem öffentlichen Verkehr wird gegenüber dem Referenzzustand bis verzehnfacht. Ebenfalls gut erkennbar ist der Gürtel entlang der neuen Glattalbahn, der ebenfalls deutlich besser erschlossen wird als im Referenzzustand.

Abbildung 23 Szenario 1 2020: Veränderung ÖV-Erreichbarkeit vgl. mit Referenz



Trotz des überdurchschnittlichen Wachstums der ÖV-Erreichbarkeit ist der Einfluss auf die Verkehrsmittelwahl gering. In grossen Teilen des Untersuchungsgebietes sind leichte Zunahmen der ÖV-Anteile festzustellen, stärkere in Zürich-West und Zürich-Nord, in Bassersdorf sowie um Winterthur.

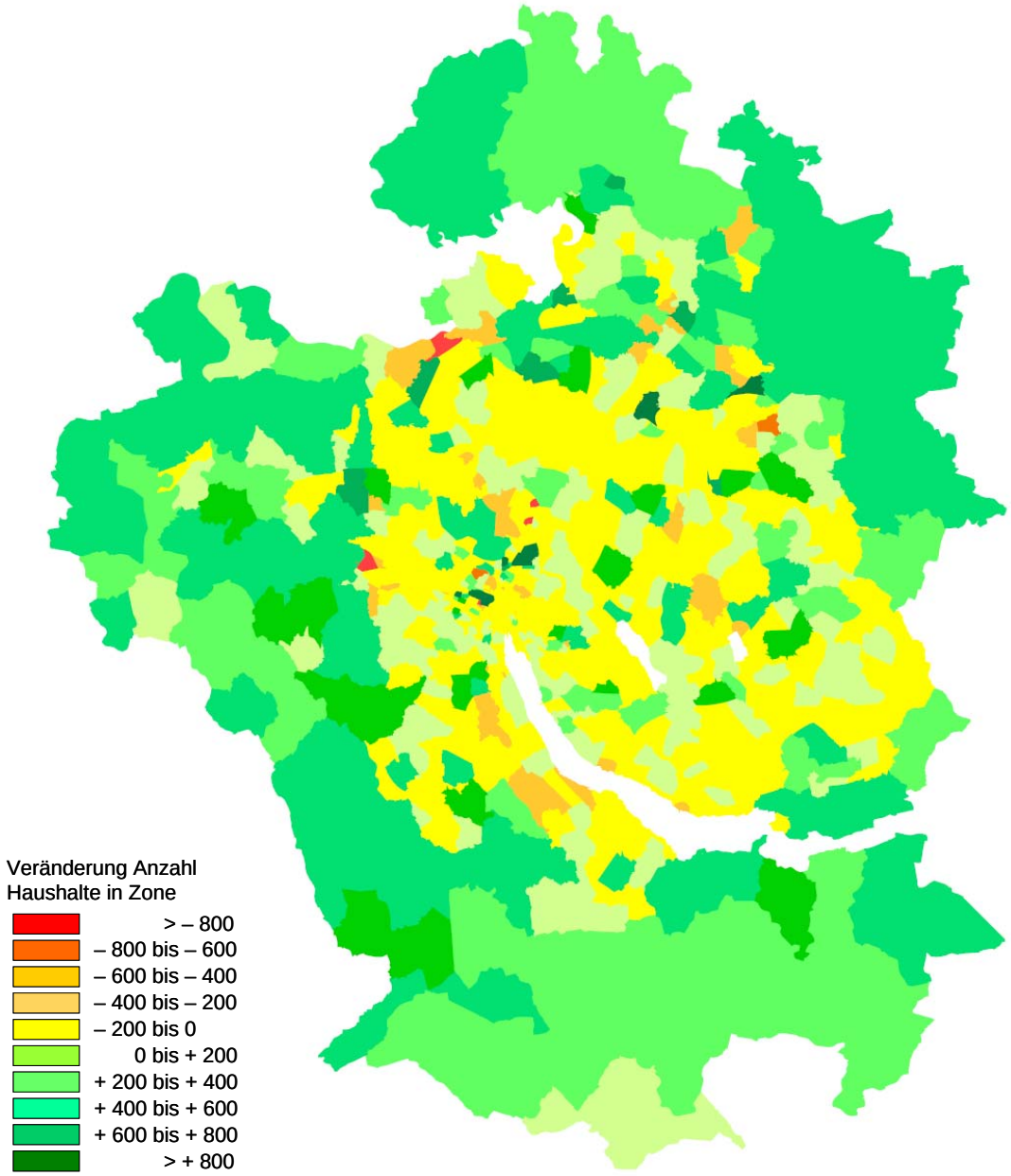
Abbildung 24 Szenario 1 2020: Veränderung ÖV-Anteil vgl. mit Referenz



Betrachtet man den Effekt dieser Erreichbarkeitsveränderungen auf die Standortwahl, ergibt sich ein etwas unscharfes Bild (Abbildung 25): Leicht zu erklären sind die Zunahmen in Zürich Nord und West (Tram Zürich West und Glattalbahn). Ebenfalls erkennbar ist der

Einfluss der zusätzlichen S-Bahn-Linien in den bereits oben beschriebenen Gebieten in der Peripherie von Winterthur. Charakteristisch sind auch die Konzentrationen der Siedlungsentwicklung um die Bahnhöfe, zum Beispiel im Oberland um Uster und Gossau. Die grafische Auswertung zeigt allerdings auch grosse Wanderungen aus den zentralen Gebieten der Agglomeration Zürich in die Peripherie, die alleine durch den verhältnismässig geringen Anstieg der ÖV-Erreichbarkeit nicht zu erklären sind. Vermutlich fördert hier der Ausbau der Nordumfahrung die grossräumige Zersiedelung.

Abbildung 25 Szenario 1 2020: Wanderungen gegenüber Referenz 2020



Insgesamt sind die Effekte des ÖV-Angebotsausbaus auf die Verkehrsmittelwahl und auf die Siedlungsentwicklung also gering, vermutlich aus drei Gründen:

- Wie erwähnt wird die Angebotsqualität des ÖV nur bezüglich Direktverbindungen und Taktintervall verbessert. Direktverbindungen werden – wie in Kapitel 3.2.3 beschrieben – allerdings in ihrer Wirkung nur ungenügend beschrieben, da die Umsteigewarte- und Gehzeiten gegenüber dem Referenzzustand konstant gehalten werden.

- Die Taktverdichtungen wirken nur um die S-Bahn-Stationen, da das untergeordnete Netz (Buslinien) nicht verändert wurden. Gemäss Vrtic et al., 2005b werden die meisten Verkehrszonen im kantonalen Verkehrsmodell allerdings an Bushaltestellen angebunden, da die Fusswegdistanz zu den Bahnstationen oft zu gross ist. Für diese Zonen ergeben sich in diesem Fall aus dem Modell keine Verbesserungen der ÖV-Erreichbarkeit und somit auch keine Erhöhung des ÖV-Anteils.

- Der Ausbau der Nordumfahrung von Zürich (3. Gubrist-Röhre) senkt die MIV-Reisezeiten auf vielen tangentialen Beziehungen und kompensiert einen grossen Teil der ÖV-Erreichbarkeitsgewinne gegenüber dem MIV umgehend wieder.

Die vorgenommene Definition des Szenarios 1 erlaubt deshalb keine klaren Schlüsse auf die räumlichen Wirkungen eines ÖV-Ausbaus im Sinne der ZVV-Vision: Einerseits lassen die im Szenario enthaltenen MIV-Ausbauten keinen klaren Rückschluss auf die isolierte Wirkung der gestiegenen ÖV-Angebotsqualität zu, andererseits kann mit der vereinfachten Modellierung des Ausbaus (keine Veränderungen des untergeordneten Netzes, ungenügende Abbildung der zusätzlichen Direktverbindungen) nicht die ganze Wirkung erfasst werden.

Trotzdem lassen die durchgeführten Modellrechnungen – insbesondere auch im Vergleich mit dem nachfolgend beschriebenen Szenario 2 – zwei Schlüsse zu:

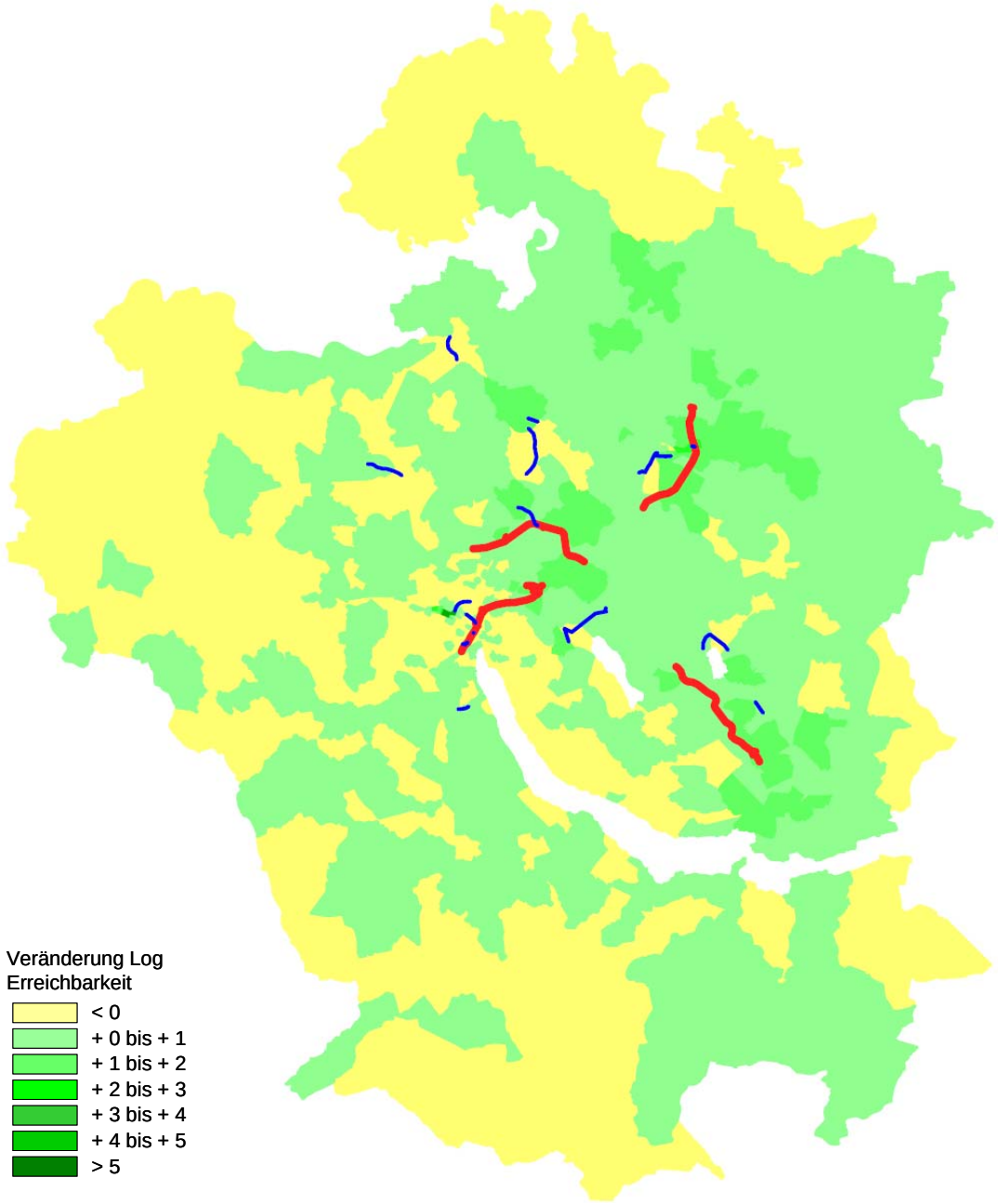
- Wenn mit dem Ausbau des öffentlichen Verkehrs eine bestimmte räumliche Entwicklung im ganzen Grossraum Zürich induziert werden soll, reichen auch eine deutliche Verdichtung des Taktintervalls und eine Erhöhung der Anzahl Direktverbindungen auf dem S-Bahn-Netz nicht aus, sondern auch das untergeordnete Busnetz muss parallel ausgebaut werden.

- Leistungsfähige Fein- oder Mittelverteiler in Ballungsräumen wie dem Glattal oder Zürich West können einen massgeblichen Beitrag zur Erschliessungsqualität und damit zur Siedlungsentwicklung in diesen Räumen beitragen. Die räumliche Wirkung beschränkt sich allerdings auf die entsprechenden Gebiete.

5.4.2 Szenario 2 2020

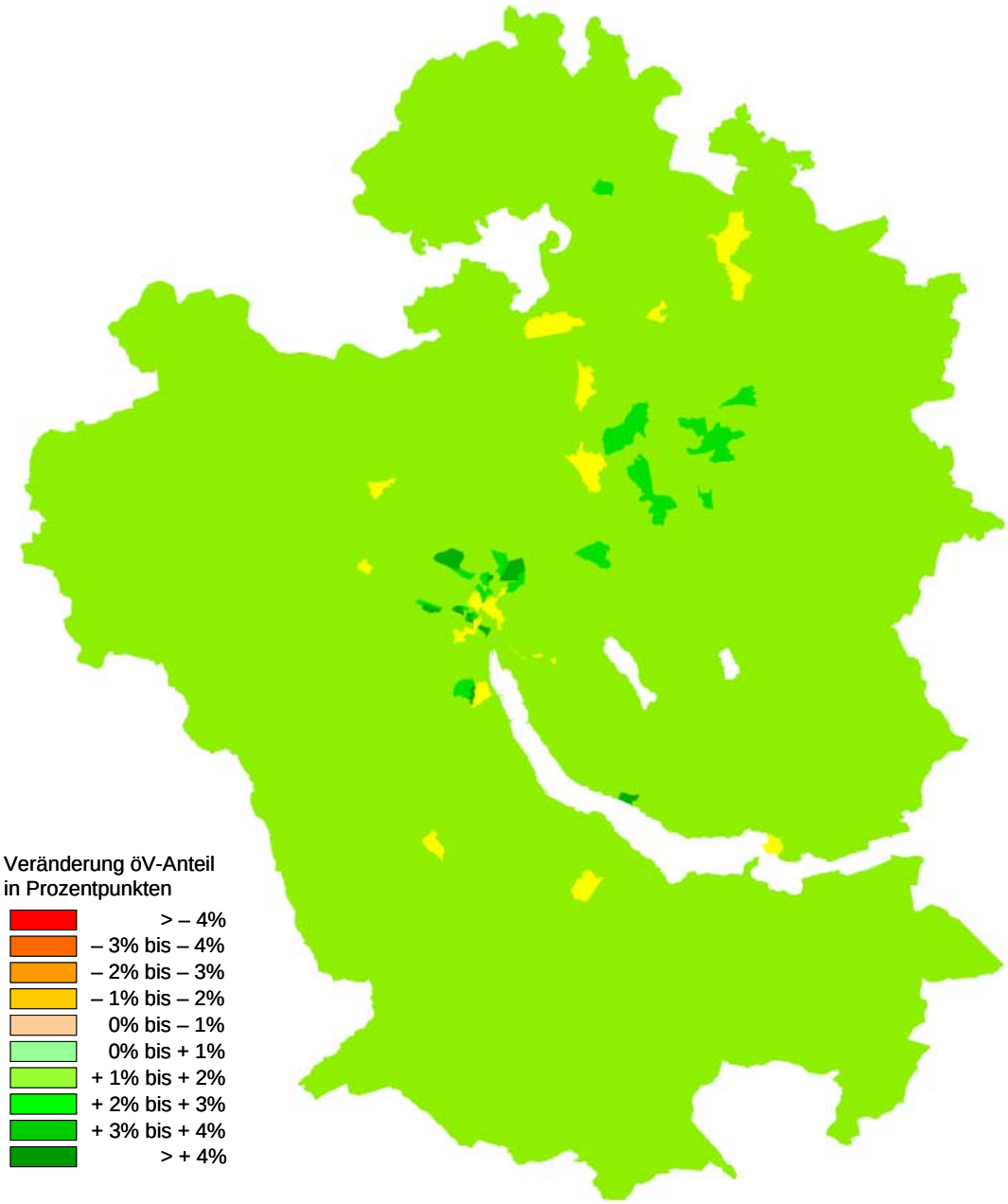
Dass die Erreichbarkeit einer Zone vor allem durch den Strassenverkehr bestimmt wird, zeigt sich beim Szenario 2 deutlich. Im Einzugsbereich der neuen Hochleistungsstrassen im Oberland, im Glattal und östlich von Winterthur steigt die Erreichbarkeit deutlich. Der Einfluss des Stadttunnels auf die Erreichbarkeit ist dagegen erstaunlich kleinräumig, dafür wird Zürich-West durch den Waidhaldetunnel deutlich besser angeschlossen.

Abbildung 26 Szenario 2 2020: Veränderung Erreichbarkeit vgl. mit Referenz



Die Umfahrungsstrassen auf dem Hauptstrassennetz entfalten eine deutlich geringere Wirkung als die Hochleistungsstrassen: Die umfahrenen Siedlungsgebiete stagnieren oder sind gar leicht schrumpfend, weil durch die flankierenden Massnahmen deren Reisezeit leicht ansteigt. Im Gegenzug wächst die Bevölkerung in denjenigen Gebieten, die durch die Umfahrung schneller in die grossen Zentren gelangen.

Abbildung 27 Szenario 2 2020: Veränderung ÖV-Anteil vgl. mit Referenz



Erstaunlich ist die Veränderung der Verkehrsmittelwahl durch die geplanten Strassenausbauten: Die Modellrechnungen zeigen über das ganze Modellgebiet sogar einen höheren Anstieg des öffentlichen Verkehrs als beim Szenario 1 mit der Realisierung der ZVV-Vision (+ 0.3% gegenüber +0.1%), wobei dazu auch der erwähnte Fehler der Zone 977 beiträgt. Grundsätzlich sind für diese paradoxe Situation drei Erklärungen denkbar:

- Die intermodalen Effekte beim Szenario 1 werden – wie bereits beschrieben – unterschätzt. Bei korrekter Abbildung dieser Effekte würde der Anstieg des öffentlichen Verkehrs beim Szenario 1 höher liegen als die 0.3% des Szenarios 2.

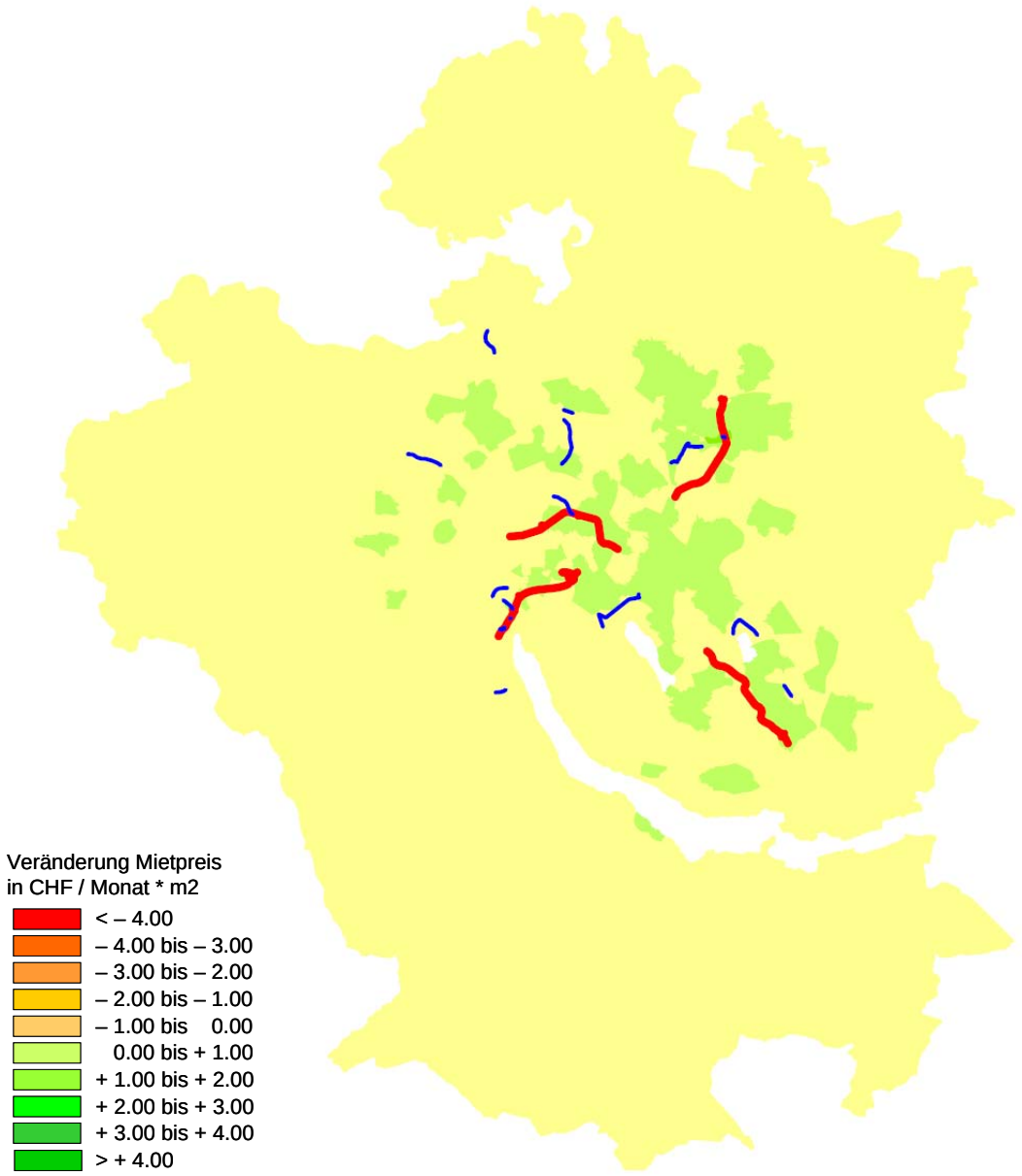
- Alle Strassenausbauten sind mit flankierenden Massnahmen gekoppelt, die die Reisezeiten für den Ziel-/Quellverkehr der umfahrenen Gebiete vergrössern. Da es sich dabei häufig um relativ dicht besiedelte Gebiete handelt, sind verhältnismässig viele Verkehrsteilnehmer davon betroffen, die entsprechend ihre Verkehrsmittelwahl ändern. Gut ersichtlich ist dieser Effekt in Abbildung 27 für Gebiete im Zentrum von Zürich, in Zürich-Nord und in Winterthur.

- Die intermodalen Effekte wurden vor der Standortwahlmodellierung berechnet. Dadurch wird für den Modalsplit des ganzen Gebietes nicht berücksichtigt, dass die Strassenausbauten dazu führen, dass mehr Leute in periphere Gebiete des Grossraums Zürich mit einem tieferen Anteil des öffentlichen Verkehrs ziehen.

Der deutliche Anstieg der Erreichbarkeit führt analog zum Referenzzustand 2010 zu einem erneuten Anstieg der Mietpreise in den umliegenden Gebieten. Gegenüber den Veränderungen im Knonauer Amt fallen diese allerdings weniger stark aus, was auf die logarithmische Formulierung der Reisezeit zum Bürkliplatz zurückzuführen ist: Während die Westumfahrung (insbesondere der Üetlibergtunnel) für die Gemeinden im Knonauer Amt die Reisezeiten ins Zentrum von Zürich deutlich verringert, wirken beim vorliegenden Szenario vorwiegend Ausbauten in geographisch weiter entfernten Gebieten, die die Reisezeit nach Zürich prozentual geringfügiger verändern, was unterproportionale Mietpreisanstiege nach sich zieht. Dennoch sind die flächigen Anstiege beträchtlich, insbesondere im Oberland, im Raum Winterthur und im Glattal, durch den Ausbau der Nordumfahrung (wie bereits im Szenario 1) teilweise auch im Unterland und im Furttal.

Erstaunlich ist auch beim Mietpreis der relativ geringe Einfluss des Stadttunnels, wie bereits bei der Erreichbarkeit beobachtet werden konnte. Ein Vergleich der Erreichbarkeitsveränderungen gemäss Abbildung 26 mit den – von der Reisezeit zum Bürkliplatz abhängigen – Mietpreisänderungen bestätigt erneut die bereits in Bürgle, 2006 beschriebene Korrelation zwischen den beiden Variablen MIV-Erreichbarkeit und Reisezeit ins Zentrum von Zürich.

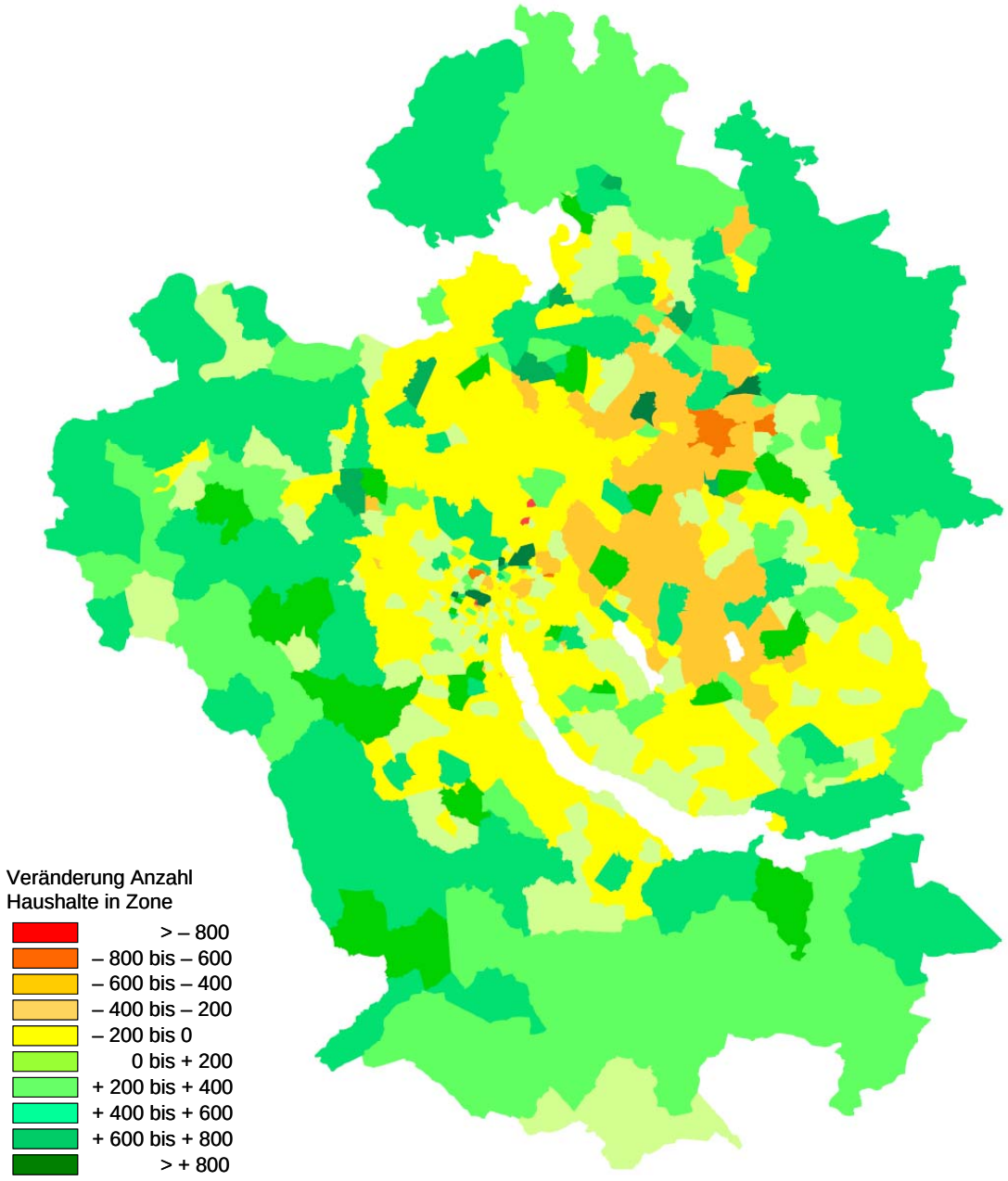
Abbildung 28 Szenario 2 2020: Mietpreisveränderung vgl. mit Referenz



Wie bereits beim Referenzzustand 2010 führt die Vernachlässigung eines Teils des Standortwahlmodells zu einer Übergewichtung der Mietpreise: Die Gebiete im Oberland und Glattal, die mit deutlich höheren Mietpreisen zu rechnen haben, wachsen gemäss Modellrechnungen kaum mehr beziehungsweise schrumpfen gar leicht. Dagegen nimmt die Bevölkerung in den peripheren Gebieten noch stärker zu als beim Szenario 1. Wie bereits beim Referenzzustand 2010 dürfte das Ausmass dieser „Wachstumsbremse“ in Realität geringer ausfallen, da verschiedene Faktoren im vereinfachten Modell ungenügend abgebildet

sind. Dennoch lässt Abbildung 29 eindeutig darauf schliessen, dass die Strassenbauvorhaben aus Szenario 2 die Peripherisierung des Grossraums Zürich noch stärker forcieren als der Ausbau des ÖV-Angebotes gemäss Szenario 1.

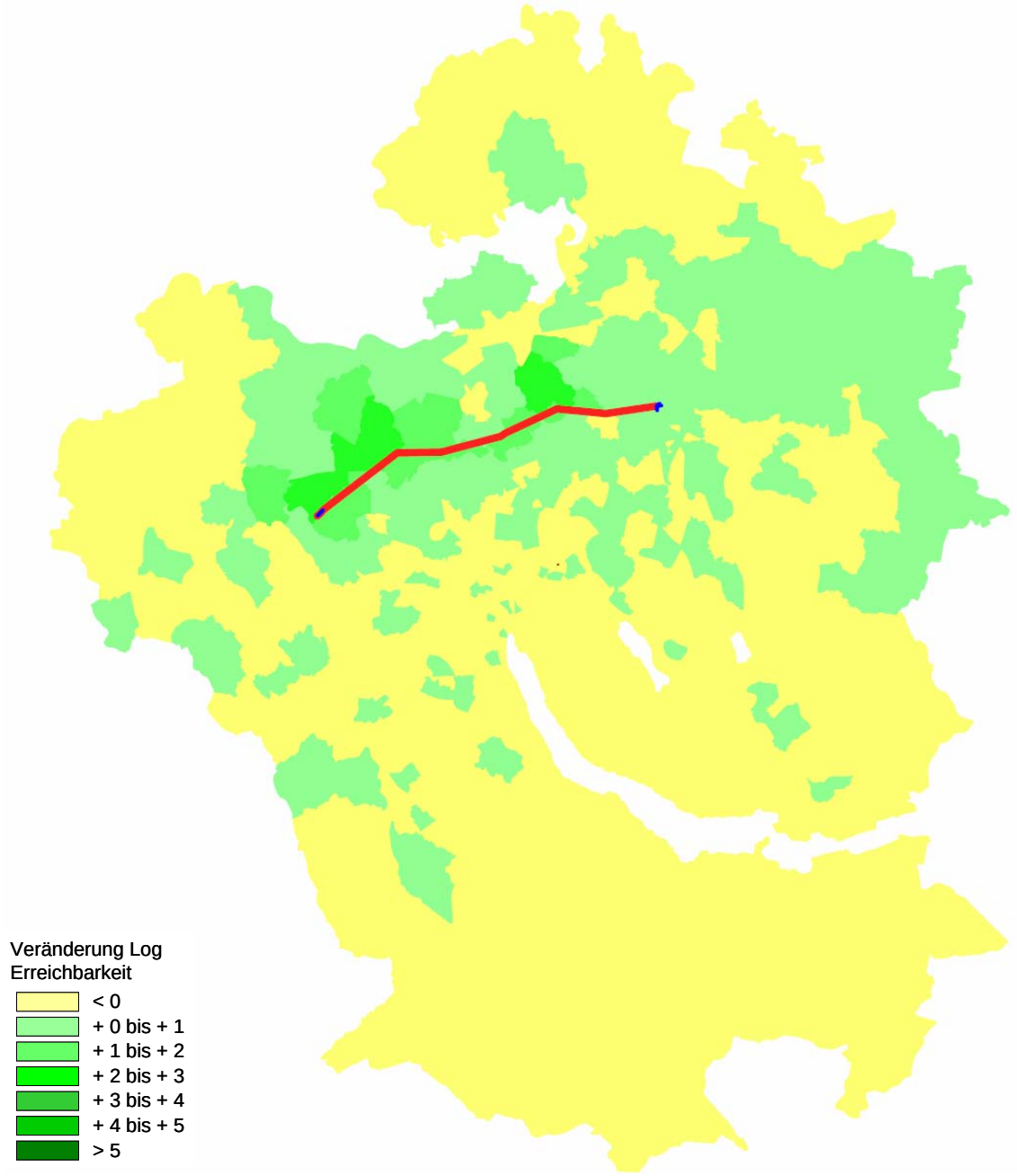
Abbildung 29 Szenario 2 2020: Wanderungen gegenüber Referenz 2020



5.4.3 Szenario 3 2020

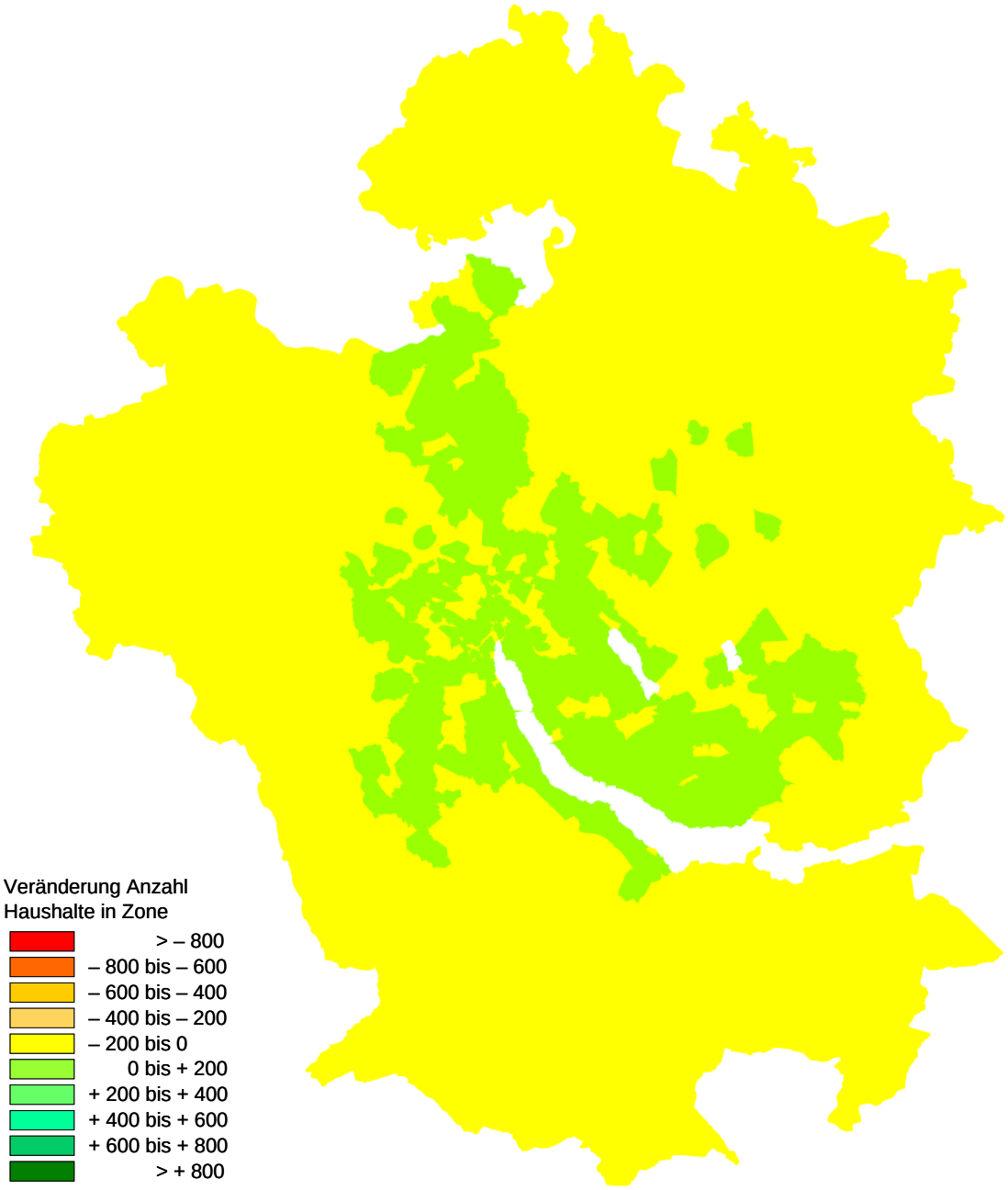
Der Bau einer neuen HLS-Verbindung zwischen Wettingen und Winterthur hat erwartungsgemäss einen deutlichen Anstieg der Erreichbarkeit entlang dieser Achse zur Folge, wie Abbildung 30 schön aufzeigt. Nördlich und östlich der neuen Verbindung, wo im Referenzzustand die Erreichbarkeit relativ tief liegt, ist die Wirkung grösser als die bereits heute gut erschlossenen Gebiete südlich und westlich der äusseren Nordumfahrung.

Abbildung 30 Szenario 3 2020: Veränderung Erreichbarkeit vgl. mit Referenz



Trotz dieser deutlichen Zunahme der Erreichbarkeit verändern sich die Mietpreise im Gebiet um die äussere Nordumfahrung nicht: Im Mietpreismodell ist allein die Reisezeit zum Bürkliplatz signifikant, die durch die tangentiale Verbindung kaum verändert wird. Dementsprechend sind auch die Standortwahleffekte beschränkt.

Abbildung 31 Szenario 3 2020: Wanderungen gegenüber Referenz 2020



Interessanterweise scheinen die sekundären Wanderungen sogar grösser zu sein als die primären: Durch die Verlagerung der überregionalen Durchgangsverkehrs auf die neue Nordumfahrung werden Kapazitäten auf dem HLS-Netz in der Region Zürich frei, die die Erreichbarkeit der Gebiete um die Stadt Zürich und dort zu einem leichten Siedlungswachstum führen. Um die Nordumfahrung selbst sind hingegen nur relativ kleine Zuwanderungen zu erwarten, da auch im Standortwahlmodell die Reisezeit zum Bürkliplatz einfliesst, die durch die flankierenden Massnahmen in einigen Anrainergemeinden sogar leicht erhöht wird.

Zusammenfassend scheinen sowohl die Veränderungen bei der Verkehrsmittelwahl als auch bei der Standortwahl durch die äussere Nordumfahrung relativ klein zu sein, verglichen zum Beispiel mit der ungleich bedeutungsvolleren Westumfahrung (vgl. Kapitel 5.2). Aufgrund der überragenden Bedeutung der Reisezeit ins Agglomerationszentrum (Bürkliplatz) spielt die Ausrichtung einer neuen Strassenverbindung eine bedeutend grössere Rolle als die Länge: Entscheidend im definierten Standortwahlmodell ist, wie viele Siedlungsgebiete schneller ins Zentrum von Zürich gelangen.

Offensichtlich übt eine tangentiale Verbindung selbst bei fortschreitender Zersiedlung kaum räumliche Wirkung aus. Dieser im Modell enthaltene Zusammenhang gilt allerdings nur solange dass die Stadt Zürich innerhalb eines monozentrischen Grossraums tatsächlich die alles bestimmende Rolle innehat. Die Parameterschätzung für die Wohnstandortwahl basiert auf tatsächlichen Standortentscheidungen, es handelt sich demnach um eine Revealed-Preference-Erhebung. Interessant wäre es, mittels einer Stated-Preference-Erhebung zu verifizieren, ob die Haushalte bei einer durch ihre eigenen Entscheidungen induzierte Veränderung der räumlichen Struktur des Grossraums Zürich oder bei einer durch exogene Effekte bewirkte Wandlung hin zu einem heterogeneren Agglomerationsraum der Reisezeit zum Bürkliplatz immer noch die gleich überragende Rolle wie heute einräumen würden.

Weiter gilt auch bei Szenario 3, dass durch die Vernachlässigung einzelner Variablen im vereinfachten Standortwahlmodell die Entscheidungssituation der Haushalte nicht vollständig abgebildet werden kann.

6 Schlussfolgerungen

6.1 Anwendbarkeit von UrbanSim

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, den im Rahmen des ZUK-Projektes entwickelten UrbanSim-Programmcode für eine konkrete Problemstellung anzuwenden. Die beschriebenen technischen Probleme haben es nicht zugelassen, diese Anwendung wie geplant durchzuführen. Deshalb lässt sich die Frage nach der Anwendbarkeit von UrbanSim für Fragestellungen im Spannungsfeld von Raum und Verkehr nicht abschliessend beurteilen.

Das angewandte vereinfachte Verfahren für das Standortwahlmodell ist nur beschränkt geeignet, die komplexen Wechselwirkungen zu erfassen. Einerseits können die nur iterativ zu ermittelnden Elemente der Standortentscheidungen damit nicht erfasst werden. Andererseits können durch das Pivot-Point-Verfahren nur die relativen Verschiebungen infolge der Variation der Mobilitätsvariablen beschrieben werden, ohne dass die limitierenden Einflüsse der staatlichen Lenkung (Bodenpolitik) oder die Veränderung des Steuersubstrats durch die veränderte Soziodemographie einer Zone miteinbezogen werden. Wie bereits in Bürgle (2006) beschrieben vernachlässigt das Parameterset von UrbanSim zudem aufgrund der fehlenden Datensätze die individuelle Distanz zum Arbeitsort, die im allgemeinen bei der Wohnstandortwahl eine nicht unerhebliche Rolle spielen dürfte.

Plausible Resultate liefert das Mietpreismodell bei Variation der Erreichbarkeiten, zumindest was die Vorzeichen betrifft. Es wäre interessant, im Rahmen einer Ex-Post-Analyse der Siedlungsentwicklung, die durch die Westumfahrung und durch die A4 im Knonauer Amt induziert wird, zu untersuchen, ob auch die Höhe der modellierten Mietpreisanstiege in diesem Raum der Realität entspricht, um das Modell besser eichen zu können. Problematisch ist bei Prognoseanwendungen die bei Szenario 3 erwähnte Korrelation der meisten Mobilitätsvariablen mit der Reisezeit zum Bürkliplatz, die heute sicher richtig ist, bei Veränderung der räumlichen Struktur des Grossraums Zürich allerdings auch abgeschwächt werden kann. Allenfalls erlaubt hier ein Parametersatz mit einer etwas geringeren Modellgüte, dafür unter Einbezug peripherer Erreichbarkeitswerte, eine realitätsnahere Beschreibung.

Insgesamt stellt UrbanSim einen interessanten Ansatz zur Beschreibung der Wechselwirkungen von Raum und Verkehr dar, der allerdings der weiteren Verfeinerung bedarf. Bei der weiteren Entwicklung ist vorab Wert auf eine Verbreiterung der Datenbasis für die Parameterschätzung zu legen, beziehungsweise es ist anzustreben, für die noch offene

Grösse der Distanz zum Arbeitsort ebenfalls zuverlässige Daten zu beschaffen und den Parametersatz auch hinsichtlich peripherer Erreichbarkeitsveränderungen sensitiv zu wählen.

6.2 Zusammenspiel von Raum und Verkehr

Verkehrsinfrastrukturen verändern den Raum und mit den durchgeführten Modellierungen kann dieser Zusammenhang auch belegt werden. Die entscheidende Grösse ist dabei allerdings nicht die Erreichbarkeit sondern die Reisezeit mit dem Privatverkehr ins Zentrum von Zürich. Die Siedlungsentwicklung des Grossraums Zürich hängt demnach ganz erheblich davon ab, wie die Isochronen zum Bürkliplatz verändert werden: Schnellere Verbindungen Richtung Zentrum fördern die Siedlungsentwicklung in peripheren Gebieten und damit die so genannte Zersiedlung.

Dieser Effekt wird allerdings durch die Entwicklung der Mietpreise auch wieder gehemmt: Mit den Reisezeitgewinnen zum Bürkliplatz steigt auch der Mietpreis pro Quadratmeter in den entsprechenden Gebieten, was sich wiederum negativ auf den Standortnutzen auswirkt. Im vereinfachten Verfahren übersteuert dieser Effekt jeweils sogar, das heisst die Bevölkerung nimmt bei besserer Erreichbarkeit in den zentrumsnäheren Gebieten zum Teil sogar ab, weil die Mietpreise derart stark steigen. Diese paradoxe Situation ist einerseits auf die vereinfachte Modellierung zurückzuführen und die Resultate sind entsprechend zu relativieren. Andererseits deuten die Resultate auch darauf hin, dass sich ein beträchtlicher Teil der Siedlungsentwicklung bei steigender Erreichbarkeit in der äusseren Peripherie abspielt, weil diese einerseits noch das grösste Wachstumspotential aufweisen, andererseits bei längeren Neubauvorhaben oft auch die prozentual grössten Reisezeiteinsparungen realisieren können. Dieser Effekt führt zum Teufelskreis der Zersiedlung: Das steigende Siedlungswachstum in der bestehenden Peripherie führt dort zu mehr Verkehr, was wiederum den Ruf nach neuen Infrastrukturen nach sich zieht, die wiederum die Isochronen der Reisezeit zum Bürkliplatz weiter nach aussen verschieben, was die Wachstumspole weiter in die Peripherie verschiebt.

Der Individualverkehr ist offensichtlich deutlich raumbildender als der öffentliche Verkehr: Im Mietpreismodell spielt das ÖV-Angebot gar keine Rolle, im Standortwahlmodell nur für Familien ohne eigenes Auto. Die intermodale Erreichbarkeit wird praktisch allein durch den Individualverkehr bestimmt. Vermutlich sind dafür zwei Gründe verantwortlich: Der öffentliche Verkehr spielt einerseits für den Pendlerverkehr im Grossraum Zürich eine grosse Rolle, im Einkaufs- und Freizeitverkehr ist der Abstand zum Individualverkehr aber immer

noch gross. Haushalte, die in periphere Gebiete ziehen, suchen unter anderem solche Gelegenheiten in Natur und Landschaft, aber auch in publikumsintensiven Einrichtungen, die aufgrund der disperseren Struktur aber kaum attraktiv mit dem ÖV bedient werden kann. Der öffentliche Verkehr kann andererseits als Massenverkehrsmittel in der heutigen Zeit nur wirtschaftlich betrieben werden, wenn bereits eine gewisse Nachfrage um eine Haltestelle besteht. Aufgrund der Liniengebundenheit muss die Nachfrage zudem einen gewissen Konzentrationsgrad erreichen. Der Individualverkehr ist aufgrund der nicht vorhandenen Zwänge viel flexibler und kann eine räumliche Entwicklung von Grund auf induzieren. Der öffentliche Verkehr hingegen folgt der Siedlungsentwicklung mit einiger Verzögerung, wird zudem in engen Grenzen der Angebotsverordnung oder ähnlicher juristischen Grundlagen geregelt und korreliert deshalb zum Teil sogar direkt mit der Bevölkerungsentwicklung (vgl. Bodenmann, 2003). Vereinfachend gesagt: Der Ausbau insbesondere des Nationalstrassennetzes verändert die räumliche Struktur des Grossraums Zürich, der öffentliche Verkehr verändert nur die Verkehrsmittelwahl.

Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass im 19. und frühen 20. Jahrhundert die Eisenbahn entscheidend war für die grossräumige Struktur der Schweiz (Städtehierarchie), das Strassennetz hingegen nur die kleinräumige Ordnung (Stadtstruktur) beeinflusste (Gabathuler, 1999). Seit 1950 hat das übergeordnete Strassennetz zusammen mit der Motorisierung allerdings zur Entwicklung und Hierarchisierung der suburbanen Gebiete massgebend beitragen. So entstanden eigentliche Entwicklungspole um Autobahnanschlüsse und bandartige Siedlungsstrukturen entlang der A1 im Mittelland, die ohne die Motorisierung nicht denkbar gewesen wäre und die die überragende Bedeutung der Strasseninfrastruktur als raumplanerische Komponente begründeten. In neuerer Zeit ist – als Reaktion auf die beschriebene Entwicklung – die Verdichtung der Gebiete um die S-Bahn-Stationen ein wichtiges Ziel der Agglomerationsplanung. Damit sollen die durch die Motorisierung flächig strukturierten suburbanen Zentren um die Bahnstationen konzentriert und so der Bahn wieder eine wichtigere raumorganisatorische Funktion zugewiesen werden. Die durchgeführten Berechnungen (v.a. Szenario 1) lassen aber befürchten, dass diese Zielsetzung der Verdichtung um die Bahnstationen angesichts des überproportionalen Einflusses der Strasse nur schwer erreichbar ist, solange gleichzeitig die MIV-Infrastruktur ausgebaut wird: Der Beitrag der verbesserten ÖV-Erschliessung an den Standortnutzen ist zu gering, als dass alleine dadurch eine Verdichtung um den Bahnhof erreicht werden könnte, die neuen Strassen kompensieren den kleinen Vorteil zudem an anderen Orten gleich wieder. Nur wenn es gelingt, die Bahnhöfe auch zu städtebaulichen Brennpunkten zu machen, kann nachhaltig verdichtet werden. Paradoxerweise führt die erfolgreiche Verdichtung in suburbanen Gebieten zudem dazu, dass dort der ÖV-Anteil steigt, was wiederum freie Kapazitäten auf dem

Strassennetz schafft und so die Isochronen der Reisezeit zum Bürkliplatz vergrössert, was wiederum zu einem weiteren Wachstum der peripheren Gebiete führt.

Die Strasse hat demnach eine Bedeutung für die räumliche Struktur erreicht, die eine gleichwertige Koexistenz der Verkehrsmittel kaum mehr zulässt. Soll dieser grosse Einfluss auf die Zersiedelung abgeschwächt werden, müssen Anreize verändert werden: Die exzessive Zonierungspolitik peripherer Gebiete und das damit verbundene tiefe Preisniveau beim Bauland ist dafür ein Beispiel, die raumplanerisch sinnlosen Abzugsmöglichkeiten der Pendlermobilitätskosten bei den Steuern ein anderes. In diese Kategorie gehören auch neue Finanzierungsmechanismen für den Verkehr im Allgemeinen und den Strassenverkehr im speziellen (Stichwort Road Pricing), die je nach Ausgestaltung auch eine bestimmte räumliche Entwicklung evozieren können. Denkbar ist auch, dass die fortschreitende Alterung zu einem Rückgang des Mobilisierungsgrades und damit zu einer Refokussierung auf kleinere funktionale Zentren führt.

Der öffentliche Verkehr dagegen kann unter den heutigen Kräfteverhältnissen keine bedeutende Rolle bei der grossräumigen Raumgestaltung mehr spielen: Angesichts seiner marktbeherrschenden Stellung bestimmt der Privatverkehr die Mobilitätskosten für beide Verkehrsmodi, bei der Reisegeschwindigkeit stösst der ÖV im Nahverkehr aufgrund der kurzen Haltestellenabstände schnell an seine Grenzen, die übrigen Kenngrössen des öffentlichen Verkehrs (Umsteigehäufigkeit, Zugangszeit, Taktintervall, Geh- und Wartezeit) sind alles Widerstände, die beim Individualverkehr gar nicht existieren. Der öffentliche Verkehr erreicht unter diesen Umständen nur dann einen höheren Nutzen, wenn keine Alternativen bestehen (captive riders) oder wenn die Reisezeit im Privatverkehr aufgrund von Überlastungen sehr stark ansteigt. Letzteres geschieht vor allem in zentrumsnahen Abschnitten der Infrastruktur, während in peripheren Räumen die Reisezeit des Privatverkehrs kaum je eingeschränkt wird. Gerade in diesen Räumen, wo sich heute noch eine Entwicklung abspielt, die man raumplanerisch beeinflussen möchte, hat demnach der öffentliche Verkehr kaum eine Chance gegenüber dem Individualverkehr.

Paradoxerweise haben die beiden Verkehrsmodi heute gegenüber dem 19. Jahrhundert die Funktionen getauscht: Heute bestimmen die Nationalstrassen, wie die Schweiz aussieht und die Bahnhöfe, wie die Orte aussehen (oder zumindest wie sie aussehen sollten). Unverändert ist der Einfluss der Mobilitätsbedürfnisse der Haushalte auf die Standortwahl und damit auf das Gesicht der Schweiz geblieben. Dieses Spannungsfeld wird auch in Zukunft nicht an Bedeutung verlieren, wenn Raum, Mobilität und Infrastruktur nachhaltig aufeinander abgestimmt werden sollen.

7 Literatur

Amt für Verkehr (2005) Gesamtverkehrsmodell des Kantons Zürich, Version vom 8. November 2005, Zürich

Amt für Verkehr, Amt für Raumordnung und Tiefbauamt des Kantons Zürich, Baudepartement des Kantons Aargau (2005) *Regionales Gesamtverkehrskonzept Limmattal*, Schlussbericht, Zürich

Amt für Verkehr (2006) *Gesamtverkehrskonzept des Kantons Zürich*, 13. September 2006, Amt für Verkehr des Kantons Zürich, Zürich

ARE (1996) *Grundzüge der Raumordnung Schweiz*, Bericht zuhanden der eidgenössischen Räte, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern

ARE (2000) *Siedlungsentwicklung und Infrastrukturkosten*, Schlussbericht im Auftrag von Bundesamt für Raumentwicklung, Staatssekretariat für Wirtschaft, Amt für Gemeinden und Raumordnung des Kantons Bern; Bundesamt für Raumentwicklung, Bern

ARE (2006) *Raumstruktur und Mobilität von Personen: Unterstützung nachhaltiger Mobilitätsstile durch Raumplanung – Technischer Arbeitsbericht*; Bundesamt für Raumentwicklung, Bern

ARV (2003) Verkehrsentwicklung, *Raumbeobachtung Heft 23*, Amt für Raumordnung und Vermessung Kanton Zürich, Zürich

Aschauer, D. (1989) Is public expenditure productive?, *Journal of Monetary Economics*, **23** (2), 177 – 200.

Axhausen K.W., Ph. Fröhlich, M. Tschopp und P. Keller (2003) Erreichbarkeitsveränderungen in der Schweiz und ihre Wechselwirkungen mit der Bevölkerungsveränderung 1950-2000, *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung*, **189**, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich.

Axhausen, K.W., Fröhlich, Ph., M. Tschopp and P. Keller (2005) Zeitkarten, Erreichbarkeiten und Verkehrspolitik, in K.W. Axhausen and L. Hurni (eds.) Zeitkarten Schweiz 1950 - 2000, Kapitel 1, IVT und IKA, ETH Zürich, Zürich.

Axhausen, K.W. (2006) Wechselwirkungen zwischen Netzen, Angeboten und Raum, MAS Raumplanung, ETH Zürich, Zürich, Februar 2006

Blanc, J. (1996) Planlos in die Zukunft? Zur Entwicklung der Raumplanungspolitik in der Nachkriegszeit, *DISP,* **124**, 3-9

Boarnet, M.G. and R. Crane (2001) *Travel by Design: The Influence of Urban Form on Travel*, Oxford University Press, Oxford.

Bodenmann, B. (2003) Zusammenhänge zwischen Raumnutzung und Erreichbarkeit: Das Beispiel der Region St. Gallen zwischen 1950 und 2000, Diplomarbeit, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich.

Bodenmann, B. (2006) Modelle zur Standortwahl von Unternehmen, *Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung*, **420**, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich.

Bundesamt für Statistik (2006a) *Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz 2005 – 2050*, Bundesamt für Statistik, Neuenburg

Bundesamt für Statistik (2006b) *Regionalisierte Bevölkerungsprognosen 2005 – 2050*, Bundesamt für Statistik, Neuenburg

Bundesamt für Statistik (2007) Wohnbautätigkeit im 1. Quartal 2007, Medienmitteilung vom 11.06.2007, BfS, Neuenburg

Bürgle, M. (2006) Modell der Wohnstandortwahl im Grossraum Zürich zur Verwendung in UrbanSim, *Arbeitsberichte Polyprojekt Zukunft urbane Kulturlandschaften*, **7**, NSL, ETH Zürich, Zürich

CUSPA – Center for Urban Simulation and Policy Analysis (2007): UrbanSim Homepage. http://www.urbansim.org. 15.03.2007

De Haan, P. und R. W. Scholz (2006) Warum kaufen Schweizer keine sparsamen Autos, *Mittelland-Zeitung*, 23.10.2006

Dietiker, J., P. Regli und F. Davatz (2002) *Warum steht Paul Müller lieber im Stau als im Tram? – Motive der Verkehrsteilnahme, Teil 2*; Forschungsauftrag SVI 43/99, UVEK, Bern

Free Software Foundation (1991) GNU General Public License, Version 2. http://www.gnu.org/licenses/gpl.txt, 15.03.2007.

Fröhlich, Ph., M. Tschopp und K.W. Axhausen (2005) Netzmodelle und Erreichbarkeit in der Schweiz: 1950-2000, in K.W. Axhausen und L. Hurni (eds.) Zeitkarten Schweiz 1950 - 2000, Kapitel 2, IVT, ETH Zürich, Zürich

Gabathuler, Ch. (1999) Der Verkehrs als heimlicher Stadt- und Landesplaner in M. Koch und Willy A. Schmid (Hrsg.) *Die Stadt in der Schweizer Raumplanung. Ein Lesebuch – Martin Lendi gewidmet*, vdf Hochschulverlag, Zürich

Huber, B. und M. Koch (1989) Der Wandel in den städtebaulichen Leitbildern der Schweiz seit 1900, *DISP,* **96**, 14-27

Kantonsrat Zürich (2005) Kantonaler Richtplan, Teil Verkehr, Überarbeitete Fassung der Verkehrsplanänderung für die öffentliche Auflage vom 17. März 2005

Kutter, E. (2002) *Innovative räumliche Planung – Kernpunkt regionaler Verkehrsgestaltung*, ECTL Working Paper 14, Technische Universität Hamburg-Harburg, Hamburg.

Lee, D.B. Jr. (1973) Requiem for large-scale models *Journal of the American Institute of Planners,* **39**, 163-178.

Löchl M., M. Bürgle und K.W. Axhausen (2007a) Implementierung des integrierten Flächennutzungsmodells UrbanSim für den Grossraum Zürich – ein Erfahrungsbericht, *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung*, **31**, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich.

Löchl, M., M. Bürgle und U. Waldner (2007b) Handbuch Simulationsmodell Grossraum Zürich, *Arbeitsberichte Polyprojekt Zukunft urbane Kulturlandschaften*, **10**, NSL, ETH Zürich, Zürich.

Marti, P. (2006) Raumordnung und Verkehr in der Schweiz: Grosse Pläne – harte Fakten – neue Ideen? Referat anlässlich der Metron-Tagung, Olten, 21.11.2006

Meili, A. (1933) Allgemeines über Landesplanung, *Autostrasse*, **2**, 17-21

Möckel, R. (2007) Business Location Decisions and Urban Sprawl - A Microsimulation of Business Relocation and Firmography, Institut für Raumplanung der Universität Dortmund, Dortmund

Neue Aargauer Bank (2006) *Verkehr als Wirtschaftsfaktor*, NAB-Regionalstudie Aargau 2006, Credit Suisse Economic Research, Zürich

Ortuzar, J.de D. und L.G. Willumsen (2001) *Modelling Transport*, 3d Edition, John Wiley and Sons Ltd, Chichester.

Ott, W., K. Gilgen und S. Schneider (2006) Energieaspekte städtischer und ländlicher Siedlungen, Jahresbericht 2006, Bundesamt für Energie, Bern

Python Software Foundation (2006) The Python Programming Language, http://www.python.org, 20.03.2007.

PTV (2006) *Handbuch VISUM Version 9.4*, PTV AG, Karlsruhe

Regierungsrat des Kantons Zürich (2004) Kantonaler Richtplan, Teil Verkehr, Änderungsanträge gemäss Regierungsratbeschluss vom 7. November 2004

Roth, A. (1944): Planen und Bauen nach dem Kriege von der Schweiz aus gesehen, *Das Werk*, **1**, 2-5

Roth, U., M. Lendi, G. Winkler, M. Zubler (1980): Chronik der schweizerischen Landesplanung, *DISP,* **56**, Beilage

Sieverts, T. und K. Ganser (1993) Vom Aufbaustab Speer bis zur Internationalen Bauausstellung Emscher Park und darüber hinaus: Planungskulturen in der Bundesrepublik Deutschland, *DISP,* **115**, 31-37

Statistisches Amt des Kantons Zürich (2006) Regionalisierte Bevölkerungsprognosen für den Kanton Zürich bis 2030 – Prognose 2005; Justiz- und Innendirektion des Kantons Zürich, Zürich.

Stadt Zürich (2006) Flankierende Massnahmen West, http://www.stadt-zuerich.ch/internet/taz/home/medienmitteilungen/flama_west.html, 10.05.2007

Steiger R. (1943) Landesplanung. Rangordnung in der Wertung der einzelnen Faktoren *ETH-Tagung für Landesplanung – Vorträge – 1.-3. Oktober 1942*, 113-119, Zürich

Synergo (2004) *Räumliche Auswirkungen der Zürcher S-Bahn – eine ex-post Analyse*; Bundesamt für Raumentwicklung, Bern

Tiefbauamt des Kantons Zürich (2000) *Bericht zum Kantonalen Verkehrsmodell*, Baudirektion des Kantons Zürich, Zürich.

Verkehrsbetriebe Glattal (2003) Wann fährt die Glattalbahn?, http://www.vbg.ch/default.asp?Sprache=D&Thema=0&Rubrik=0&Gruppe=29&Seite=85, 10.05.2007

Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (2006) Projektdokumentation Tram Zürich-West/ Umbau Pfingsweidstrasse, VBZ, Zürich

Vrtic, M. P. Fröhlich, N. Schüssler, K.W. Axhausen, S. Dasen, S. Erne, B. Singer, D. Lohse und C. Schiller (2005a) *Erzeugung neuer Quell-Zielmatrizen im Personenverkehr*, im Auftrag des Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK), des Bundesamtes für Raumentwicklung (ARE), des Bundesamtes für Strassen (ASTRA) und des Bundesamtes für Verkehr (BAV), Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Emch+Berger AG und Lehrstuhl für Verkehrsplanung, TU Dresden, Zürich und Dresden.

Vrtic, M. P. Fröhlich, N. Schüssler, K.W. Axhausen, P. Kern, F. Perret, S. Pfisterer, Ch. Schulze, A. Zimmerman und U. Heidl (2005b) *Verkehrsmodell für den öffentlichen Verkehr des Kantons Zürich*, im Auftrag des Amtes für Verkehr Kanton Zürich, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Ernst Basler + Partner AG Zürich und PTV AG, Karlsruhe.

Waldner, U., M. Löchl, M. Bürgle und K.W. Axhausen, (2005) Haushaltsbefragung zur Wohnsituation im Grossraum Zürich – Feldbericht. *Arbeitsberichte Polyprojekt Zukunft urbane Kulturlandschaften*, **1**, NSL, ETH Zürich, Zürich.

Zürcher Verkehrsverbund (2000) Grafische Übersicht ZVV-Vision, http://www.zvv.ch/vision/vision1.htm, 03.03.2007

Anhang

A 1 Beschreibung Codierung MIV-Netzelemente

Tabelle 17 Codierung der MIV-Netzelemente

Netzelement	Länge [m]	Kapazität je Richtung [PWE/d]	v0 [km/h]
Stadttunnel Zürich, Brunau-Neuguet	9’000	46080	80
Abklassierung Strassen an Sihl	1’500	8960	20-30
Uetlibergtunnel, Brunau-Fildern	4’300	51200/56000	80/100
Umfahrung ZH West, Urdorf-Fildern	5’200	51200	90
FlaMa Uitikon/ Albisrieden	2’100	9680/10880	45/58
FlaMa Weststrasse	1’700	8800	20-30
FlaMa Seebahnstrasse	1’600	16800	20-30
A4 Knonaueramt, Fildern – Kt. ZG	16’050	53000-57600	100/108/120
FlaMa Affoltern, Mettmenstetten, Hedingen, Obfelden, Ottenbach	Gemäss Angaben auf www.westumfahrung.ch		
Umfahrung Obfelden	800	13248	72
Umfahrung Ottenbach	1’850	14400	80
Halbanschluss Spreitenbach	700	14400	80
¾-Anschluss A51 Opfikon	150	14400	50
Verzweigung ZH West		46080	84
Abbruch Sihlhochstrasse			
Waidhaldetunnel Zürich (mittel)	1350	23840 (Ri N) 11920 (Ri S)	65
Abklassierung Rosengartenstrasse	650	5000	22
Abklassierung Förrlibuckstrasse		- 12%	- 30%
Umbau Hardbrücke inkl. Anschlüsse		Gemäss www.nwrz.ch	
Tiefgelegtes Sihlquai	1’100	25920 (Ri W) 12960 (Ri O)	72

Verlängerungen Aubrugg- und Glattalstrasse	800 500	720	56
Abklassierung Schaffhauserstrasse		- 12%	- 30%
Ausbau A1 Nordumfahrung	10’500	79488 (statt 56416)	108 (statt 98)
Nordumfahrung Adliswil	850	745*16	65
Abklassierung Zürichstrasse		- 12%	- 30%
Westtangente Fällanden-Schwerzenbach	5’700	828*16	72
Abklassierung Zürichstrasse		- 12%	- 30%
Glattalautobahn, Baltenswil-Seebach	9’750	2980/3240*16	97/108
AS Kloten	Vereinfachte Punktanschlüsse (Anschlussgeometrie nicht bekannt)		
Vz mit A51			
FlaMa Bassersdorf und Dietlikon	5’400		
Nordumfahrung Kloten	2’100	745*16	65
Oberlandautobahn A53, Uster-Betzholz	10’050	1361*2*16 1656*2*16	86 108
Umfahrung Ettenhausen	1’000	810*16	72
Westtangente / Umfahrung Pfäffikon	3’050	756*16/828*16	65/72
Abklassierung Schützenhaus- und Schanzstrasse		- 12%	- 30%
Moosackerstrasse Uster	800	720*16	56
Abklassierung div. Strassen Uster		- 12%	- 30%
Uster-West	800	720*16	56
Abklassierung div. Strassen Uster		- 12%	- 30%
Südostumfahrung Winterthur	9’000	1361*2*16	86
Abklassierung div. Strassen Winterthur			
Tieflegung Untere Vogelsangstrasse	1’800	720*16	56
Heiligbergtunnel	1’300	810*16	72
Abklassierung Zürcher- / Breitestr.		- 12%	- 30%
Ausbau A4 Weinland auf 2x2 Spuren	12’700	48512-51200	90-98
Umfahrung Embrach-Lufingen	3’600	900*16	80
Abklassierung Dorfstrasse		- 12%	- 30%
Umfahrung Embrach	850	828*16	72
Abklassierung Winterthurerstrasse		- 12%	- 30%

Umfahrung Eglisau	2’100	828*16	72
Abklassierung Hauptstrasse Eglisau		- 12%	- 30%
Umfahrung Dielsdorf-Sünikon	2’900	828/900*16	72/80
Abklassierung Wehntalerstrasse		- 12%	- 30%
Äussere Nordumfahrung	30’500	43000/47680	86/90
AS Schöfflisdorf	Vereinfachte Punktanschlüsse (Anschlussgeometrie zum jetzigen Zeitpunkt noch unbekannt)		
AS Dielsdorf			
AS Bülach / VZ mit A51			
AS Embrach			
AS Pfungen			
Abklassierung HVS-Netz Furttal und Unterland		- 12%	- 30%

Quellen: Regierungsrat Kanton Zürich 2004, Tiefbauamt Kanton Zürich 2000, eigene Berechnungen und Messungen