


Verkehrsinfrastruktur und räumliche Entwicklung

Eine ökonometrische Analyse

Working Paper

Author(s):

Tschopp, Martin; Fröhlich, Carla; Axhausen, Kay W. 

Publication date:

2006

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005226405>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Originally published in:

Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung 352

SNF Projekt Räumliche Erreichbarkeiten und regionale Disparitäten

**Verkehrsinfrastruktur und räumliche Entwicklung –
eine ökonometrische Analyse**

**M. Tschopp
Ph. Fröhlich
K.W. Axhausen**

Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung

**352
März 2006**

 *Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme
Institute for Transport Planning and Systems*

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung 352

Verkehrsinfrastruktur und räumliche Entwicklung – eine ökonometrische Analyse

M. Tschopp
IVT
ETH Hönggerberg (HIL F 51.3)
CH-8093 Zürich

Ph. Fröhlich
IVT
ETH Hönggerberg (HIL F 31.2)
CH-8093 Zürich

K. W. Axhausen
IVT
ETH Hönggerberg (HIL F 32.3)
CH-8093 Zürich

Tel.: +41-1-633 27 19
Fax: +41-1-633 10 57

Tel.: +41-1-633 31 96
Fax: +41-1-633 10 57

Tel.: +41-1-633 39 43
Fax: +41-1-633 10 57

email:
tschopp@ivt.baug.ethz.ch

email:
froehlich@ivt.baug.ethz.ch

email:
axhausen@ivt.baug.ethz.ch

März 2006

Kurzfassung

Das Projekt Räumliche Erreichbarkeiten und regionale Disparitäten hat zum Ziel, im Rahmen einer quantitativen ex-post Analyse die Veränderungen der Raumstruktur einerseits und die Entwicklung der Verkehrsinfrastruktur und Transportdienstleistungen im Zeitraum zwischen 1950 und 2000 nachzuzeichnen. Methodisch stützen sich die Arbeiten sowohl auf herkömmliche Multiple (OLS), wie auch auf hierarchische Regressionsmodelle ab. Dieser Bericht (ein Zwischenbericht zum Stand des Projektes) hat zum Ziel, die bis dahin gewonnenen Erkenntnisse analytischer und methodischer Art zu dokumentieren und daraus Empfehlungen für die weitere Projektarbeit abzuleiten.

Schlagworte

Raum; Demographie; Infrastruktur; Demographie; Erreichbarkeit; Hierarchische Regressionsmodelle; Schweiz; ETH Zürich; Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT)

Zitierungsvorschlag

Tschopp, M., Ph. Fröhlich und K. W. Axhausen (2006) Verkehrsinfrastruktur und räumliche Entwicklung – eine ökonometrische Analyse, *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung*, 352, IVT, ETH Zürich, Zürich.

Working Papers Traffic and Spatial Planning 352

Verkehrsinfrastruktur und räumliche Entwicklung – eine ökonometrische Analyse

M. Tschopp
IVT
ETH Hönggerberg (HIL F 51.3)
CH-8093 Zürich

Ph. Fröhlich
IVT
ETH Hönggerberg (HIL F 31.2)
CH-8093 Zürich

K. W. Axhausen
IVT
ETH Hönggerberg (HIL F 32.3)
CH-8093 Zürich

Tel.: +41-1-633 27 19
Fax: +41-1-633 10 57

Tel.: +41-1-633 31 96
Fax: +41-1-633 10 57

Tel.: +41-1-633 39 43
Fax: +41-1-633 10 57

email:
tschopp@ivt.baug.ethz.ch

email:
froehlich@ivt.baug.ethz.ch

email:
axhausen@ivt.baug.ethz.ch

March 2006

Abstract

The project Räumliche Erreichbarkeiten und regionale Disparitäten aims in the context of an ex-post analysis to describe the change of spatial structures on the one hand and the development of transport infrastructure between 1950 and 2000 on the other hand. Multiple (OLS) as well as hierarchical (Multilevel Modeling) models are the methods used for this project so far. This report (Actually an interim report to the project) describes the analytical and methodological insights gained so far to provide recommendations for the future project work.

Keywords

Space; Demography; Infrastructure; Accessibility; Multilevel Modelling; Switzerland; ETH Zürich; Institute for Traffic Planning and Systems (IVT)

Preferred citation style

Tschopp, M., Ph. Fröhlich and K. W. Axhausen (2006) Verkehrsinfrastruktur und räumliche Entwicklung – eine ökonometrische Analyse, *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung*, 352, IVT, ETH Zürich, Zürich.

1 Einleitung

Transportsysteme wurden primär gebaut um die Aktionsradien von Menschen wie auch der Industrie zu erweitern. Eine Art, die Veränderungen im räumlichen System zu messen ist die Messung der sich verändernden Erreichbarkeiten. Dafür müssen zwei Fragen beantwortet werden. Erstens: Was kann erreicht werden und zweitens: Wie gross ist der dafür benötigte Aufwand? Erreichbarkeit ist also sowohl das primäre Produkt der Verkehrsinfrastruktur wie auch der Mechanismus, der Transportinfrastruktur und der Raumnutzung verknüpft. Sie misst die räumliche Auswirkung neu erstellter Verkehrsinfrastruktur und zeigt die Attraktivität einer bestimmten Region hinsichtlich ihrer Marktgrösse.

Während der letzten 50 Jahren hat der Individualverkehr auch in der Schweiz dramatisch zugenommen. Kauf und Unterhalt eines Personenwagens ist in Westeuropa längst kein Luxus mehr. Die Nutzung des Individualverkehrs (in der Folge: IV) ist für weite Teile der Bevölkerung möglich. Die interregionale Verkehrsinfrastruktur für den Individualverkehr entwickelte sich von einem langsamen Mehrzweckstrassennetz zu einem schnellen, stark hierarchischen Autobahn und Strassenverkehrssystem, das für Personenwagen entstanden ist. Auch die Leistungen des öffentlichen Verkehrs (ÖV) haben sich in demselben Zeitraum stark verändert, hier sind es aber weniger der Neubau von Infrastrukturen, welche zu höheren Erreichbarkeiten beitragen, als vielmehr verbesserte Fahrpläne und erhöhte Taktfrequenzen.

Das Projekt Räumliche Erreichbarkeiten und regionale Disparitäten hat zum Ziel, im Rahmen einer quantitativen ex-post Analyse die Veränderungen der Raumstruktur einerseits und die Entwicklung der Verkehrsinfrastruktur und Transportdienstleistungen andererseits, sowie deren Wirkungszusammenhang im Zeitraum zwischen 1950 und 2000 nachzuzeichnen. Methodisch wird auf herkömmliche Multiple Regressionen (OLS), sowie auch auf hierarchische Regressionsmodelle (Multilevel Modelling) abgestützt. Das Hauptaugenmerk richtet sich in diesem Bericht weniger auf den Beschrieb der Strukturen und ihrer Veränderungen, als vielmehr auf die Zusammenhänge zwischen Verkehr und Raum und deren Veränderungen über den Untersuchungszeitraum.

Dabei beschränken wir uns in dieser Arbeit explizite auf die Darstellung und Erklärung der Wirkung der veränderten Verkehrsinfrastruktur auf die Raumstruktur. Ob eine gegenteilige Auswirkung, nämlich ob eine Rückkoppelung von Raumstruktur auf die Transportinfrastruktur, besteht soll zu einem späteren Zeitpunkt untersucht werden. Die geschätzten Modelle sollen im Wissen betrachtet werden, dass es neben der Verkehrsinfrastruktur eine Vielzahl weiterer Raum prägender Elemente (man denke z. B. an Struktur erhaltende Massnahmen in der

Landwirtschaft wie Subventionen oder generell Transferzahlungen in benachteiligte Regionen, wie der Eidgenössische Finanzausgleich) gibt, und sie daher nicht alleine Ursache für bestimmte räumliche Entwicklungen sind.

1.1 Forschungsstand

Projekte mit ähnlichen Fragestellungen zu den Zusammenhängen zwischen Verkehrs- und Raumstruktur wurden und werden seit langem durchgeführt. In den letzten Jahren, haben sich diverse Autoren in verschiedenen Studien mit dem Ausbau der Verkehrsinfrastruktur von IV und ÖV und der damit einhergehenden Erreichbarkeitsveränderung von Regionen und deren Auswirkungen auf die räumliche Entwicklung auseinandergesetzt.

Die wohl wichtigste Untersuchung in den letzten Jahrzehnten kommt aus den USA und wurde von A. D. Aschauer verfasst. Aschauer hat die Auswirkungen der Ausgaben der Transportinfrastruktur auf die Arbeitsproduktivität und das Wirtschaftswachstum untersucht, indem er ein Produktionsfunktionsmodell verwendet hat (Aschauer, 1989). Abhängige Variable war der Output je Arbeitskraft. Untersuchungsraum waren die USA ohne Alaska und Hawaii, der Zeithorizont lag zwischen 1969-1986. Das Hauptresultat war, dass der Effekt der Transportausgaben auf das Wachstum der Arbeitsproduktivität signifikant und hoch ist (Ausgaben für Transportinfrastruktur von 10 Mia \$ generieren eine Zunahme des Privatkapitals von 2.05 Mia \$).

In Europa sind diese Fragestellungen u. a. in den Niederlanden detailliert untersucht worden. F. R. Bruinsma und S. A. Sinestra untersuchten in ihren Arbeiten die Raumwirksamkeiten von neuen Fernstrassen an verschiedenen Fallbeispielen. Sie haben sich in erster Linie auf Ansätze mit Verwendung von Multiplen Regressionsansätzen abgestützt (z. B. Bruinsma und Sytze, 1997).

Im deutschsprachigen haben sich die Forschungen von H. Lutter mit diesen Fragestellungen auseinandergesetzt. In seinen empirischen Arbeiten geht er der Frage nach „ob und wie der heutige ... Fernstrassenbau die räumliche Verteilung von Bevölkerung, Arbeitsplätzen und Infrastruktur beeinflussen kann.“ (Lutter, 1980). Seine Studien stellen eine Synthese von thematischer Literaturanalyse, Expertenbefragungen, Auswertungen zu vorhandenen Ex-post Analysen, eigenen Erhebungen und deren statistischer Analyse dar. Das Ziel bestand darin, aus der Vielfalt von Informationen über total 57 Regionen in Westdeutschland generelle Auswirkungen von Autobahnen auf den ländlichen Raum herauszukristallisieren. Das wichtigste Resultat dieser Untersuchung ist, dass keine grossräumigen Beschäftigungs- und Bevölkerungs-

effekte durch Fernstrassenbau in peripheren, ländlichen Regionen entstanden sind. Allerdings kommt aber bei der Wahl der Wohnstandortgemeinde dem Ausbau der grossen Ausfallstrassen aus dem Verdichtungskern eine grosse Bedeutung zu.

In der Schweiz gilt es insbesondere die Arbeiten von Kesselring, Halbherr und Maggi zu erwähnen (Kesselring et al., 1982), welche mit ganz ähnlichen Methoden eine ex-post Analyse zu eben diesen Fragestellungen durchgeführt haben. Es wurde der Einfluss des Strassennetzbaus auf die raumwirtschaftliche Entwicklung untersucht. Der Untersuchungsraum war dabei auf die Region Zürich-Innerschweiz konzentriert, der Untersuchungszeithorizont lag zwischen 1960 und 1970. Die Kernaussage dieser Analyse des Grossraumes Zürich/Innerschweiz ist, dass es vor allem die mittelländischen Agglomerationsräume sind, welche durch einen Netzausbau gefördert werden können, währenddem die peripheren, wirtschaftsschwachen Zonen unter negativen Auswirkungen leiden.

1.2 Daten

Für dieses und das Vorgängerprojekt COST 340 wurden für beide Variablengruppen (Raumstruktur auf kommunaler Ebene und Erreichbarkeiten) Daten über einen grossen Zeitraum (1950 bis 2000) gesammelt und digitalisiert. Durch das Projektdesign mit dem Anspruch auf räumliche Schärfe und historische Tiefe mussten Variablen gesucht werden, welche diese speziellen Anforderungen erfüllen. Die Auflösung der Raumstruktur sollte möglichst hoch sein, deshalb wurde die Gemeindeebene als Analyseeinheit gewählt. Die sozioökonomischen Daten kommen in der Hauptsache aus der Schweizerischen Volkszählung. Da das ganze Projekt eine historische Komponente hat, müssen die Daten über einen grossen Zeitraum konsistent und daher vergleichbar sein. Die Daten wurden daher an den Gebietsstand des Jahres 2000 angepasst. Die Schweiz bestand im Jahr 2000 aus 2896 Gemeinden; während den letzten 5 Dekaden wurden über 300 Gemeinden zusammengelegt, änderten den Namen oder die Gemeindenummer nach BfS. Die Netzwerkmodelle für ÖV und IV wurden vom IVT, ETH Zürich aufgebaut (siehe Fröhlich, Frey, Reubi und Schiedt, 2003, Tschopp, Frey, Reubi, Keller und Axhausen, 2003, sowie Fröhlich, Tschopp und Axhausen, 2003).

2 Die Erreichbarkeit und ihre Entwicklung

In diesem Kapitel wird in einem ersten, einführenden Teil der Begriff „Erreichbarkeit“ definiert. In einem zweiten Teil wird die Erreichbarkeit über die letzten 50 Jahre nachgezeichnet und beschrieben, dies sowohl für den ÖV wie auch für den IV. Der Begriff Erreichbarkeit kommt in unterschiedlichen Ausprägungen in theoretischen Ansätzen zur Analyse der Raumstruktur vor. Von Thünen, Lösch oder Christaller benutzen die Erreichbarkeit als räumliche Komponente um die verschiedenen Arten der Raumnutzung zu erklären (siehe auch Elsasser, 1998).

2.1 Räumliche Interaktionsmodelle

In der Folge wird das Gravitationsmodell definiert und dessen Weiterentwicklung zum Potentialansatz beschrieben.

2.1.1 Das Gravitationsmodell

Ein Interaktionsmodell ist das Gravitationsmodell. Dieses wurde anhand der Interaktionen zwischen zwei Orten erstmals von James Q. Stewart (Stewart, 1947) folgendermassen beschrieben:

$$T_{ij} = k \frac{P_i P_j}{d_{ij}^2}$$

Wobei T_{ij} die Nummer der Trips zwischen Ausgangspunkt i und Destination j repräsentiert, P_i und P_j repräsentieren die Grössen des Ausgangsortes i und des Zielort, z. B. anhand der Bevölkerungsgrösse, d ist die Distanz zwischen Ausgangsort und Zielort.

In Analogie zum Newton'schen Gravitationsmodell fand er starke Korrelationen für Verkehr, Migration und Handel und Kommunikation zwischen zwei Orten, basierend auf dem Produkt der Bevölkerungsgrösse und umgekehrt proportional zur ihrer quadrierten Entfernung (siehe Brakman et al., 2001). Als Beispiel berechnet Brakman einen negativen Zusammenhang zwischen der Entfernung der Handelspartner und der exportierten Menge an Handelswaren. 52 % der Variation der Exportflüsse aus Deutschland können so erklärt werden. Die Stärke der

Handelsströme scheint also von deren Transportdistanz abhängig zu sein, sie dünnt sich über die Entfernung langsam aus.

2.1.2 Vom Gravitationsmodell zum Potential

Steward (1947, 1948) sowie Steward und Warntz (1958) entwickelten die Idee des Gravitationsgesetzes weiter zu einem umfassenden System der „Sozialen Physik“. Dabei wird nicht mehr nur jeweils die Interaktion eines Städtepaars berechnet, sondern es wird der Einfluss sämtlicher Ortschaften n und Städte j in einem betrachteten Perimeter berücksichtigt (vgl. Bodenmann, 2006). Um die Erreichbarkeit zu beschreiben wird in diesem Forschungsprojekt dieser, auch als Potentialansatz bekannte Ansatz verwendet. Die Erreichbarkeit wird demnach definiert wie in Geurs und Ritsema van Eck, 2001:

“...the extent to which the land-use transport system enables [groups of] individuals or goods to reach activities or destinations by means of a [combination of] transport mode[s].”

Der hier angewandte Potentialansatz ist eine gängige Methode, die Erreichbarkeit zu berechnen (siehe z. B. Kesselring et al., 1982). Die Erreichbarkeit (und somit das Potential) wird als Operationalisierungskonzept für die Raumüberwindung verstanden. Das Potential reflektiert dabei die Summe von Standortfaktoren am Ort i selbst sowie in den umliegenden Orten j . Die Standortfaktoren in den Orten j sind jedoch umso weniger bedeutsam, je weiter entfernt sie sind. Die Standortfaktoren werden also nach dem Distanz-Gewichtungsfaktor mit der ökonomischen Distanz diskontiert. Die ökonomische Distanz wurde in dieser Arbeit mit der räumlichen Distanz, resp. mit der Reisezeit, in der sie überwunden werden kann, gleichgesetzt.

Erreichbarkeit für wen und zu was? Diese Frage zeigt, wie spezifisch Erreichbarkeit je nach Nutzer und Fahrzweck sein kann. Die Erreichbarkeit ist somit immer in Bezug gestellt zu den relevanten Akteuren (Menschen, seien es Einwohner, Arbeitnehmer, bestimmte Altersklassen), welche bestimmte Aktivitäten im Raum ausüben (Wohnen, Arbeiten, Bildung, Konsum, Freizeit) und dafür bestimmte Verkehrsmittel benutzen. Je nach Verkehrsmittel, Akteur, respektive seinen Aktivitäten können so verschiedenste, gruppenspezifische Erreichbarkeiten errechnet werden.

Mit anderen Worten soll uns die Errechnung der Erreichbarkeit die Antwort auf folgende Frage geben: Was kann von wo erreicht werden und wie gross ist der Aufwand zur Raumüberwindung? Mit diesem Ansatz kann ein Wert für die Erreichbarkeit einer jeden Gemeinde in der Schweiz errechnet werden.

Die Erreichbarkeit wird folgendermassen bemessen:

$$Acc_i = \sum_{j=1}^{j=\max} A_j * \exp(-\beta * c_{ij})$$

Acc_i	Erreichbarkeit von Menschen in Punkt i
A_j	Anzahl Aktivitätspunkte (z. B. Bevölkerung) in der Gemeinde j
c_{ij}	Reisezeit (ÖV oder IV) zwischen der Gemeinde i und der Gemeinde j
β	Distanz-Gewichtungsfaktor

Dieser Ansatz ist auch die exakte Bemessung der Nutzenfunktion im Kontext eines Ziel-, und Routen/Verkehrsmittelwahlmodells (Williams, 1977; Ben-Akiva und Lerman, 1985) und daher der Dienstleistung, welche vom ÖV und IV System bereitgestellt wird. Diese Formulierung zeigt, dass die Verteilung von Aktivitätsmöglichkeiten und Märkten vom Zugang zum Verkehrsnetz und zu den Verkehrsmitteln abhängig ist.

2.2 Entwicklung der Erreichbarkeit in der Schweiz

Abbildung 1 zeigt die Erreichbarkeitswerte ÖV- und IV-seitig für jede Gemeinde in der Schweiz zwischen 1950 und 2000, welche in der Karte in der 3. Dimension abgebildet sind. Der Distanz-Gewichtungsfaktor β der generalisierten Kosten der Erreichbarkeit wird dabei für die Berechnungen mit 0.2 angenommen und über die Zeit konstant gehalten. Der Wert für β für die Schweiz wurde für 1960 und 1970 geschätzt (Schilling, 1973) und auch neuere Literatur schätzt Werte für β in dieser Grössenordnung. Für die Diskussion über eventuell abweichende Werte des Distanz-Gewichtungsfaktors siehe z. B. Kwan, 1998. Es ist realistisch anzunehmen, dass hier dieser Parameter über die Zeit geändert hat, was veränderte Wohneigenschaften und Wohnortwahl und die veränderten Anteile der Reisekosten im Verhältnis zu den anderen Haushaltsbudgetkategorien, wie Wohnen und Lebensmittel, widerspiegelt. Die relevanten Werte für β für verschiedene Zeitpunkte, Regionen oder verschiedene Aktivitäten sind zum heutigen Zeitpunkt allerdings noch nicht erhältlich.

Wenn nun die strassenseitige Erreichbarkeit für das Jahr 1950 betrachtet wird, so kann gesehen werden, dass die fünf grossen Agglomerationszentren Zürich, Bern, Basel, Lausanne und Genf mit ihren Metropolitanregionen im Vergleich zu den anderen Regionen in der Schweiz klare Erreichbarkeitsvorteile aufweisen. Das einzige Band mit hohen Erreichbarkeitswerten

ausserhalb der Grossagglomerationen findet sich im Mittelland im Dreieck Bern-Basel-Zürich. Mit Ausnahme des Rhonetals und dem Südtessin weisen grosse Teile des alpinen Raums tiefe Erreichbarkeitswerte aus.

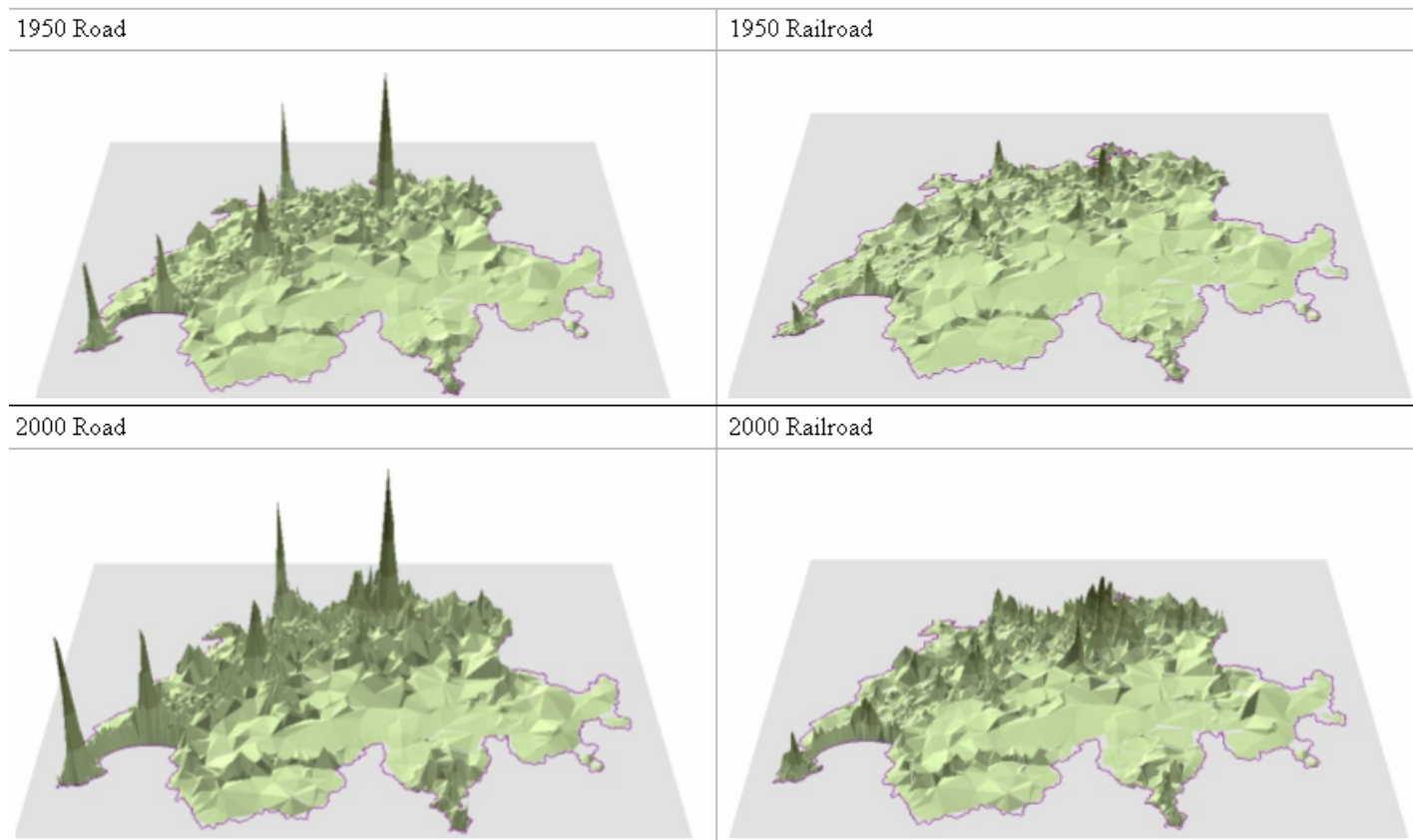
Im Jahr 2000 finden sich die Orte mit den höchsten Quintilen der strassenseitigen Erreichbarkeit in einem kreisförmigen Gebiet um Zürich, die ganze Agglomeration und die nördlichen Teile des Vierwaldstättersees einschliessend. Um Bern ist ein kreuzförmiges Gebiet mit hohen Erreichbarkeitswerten zu sehen, welches von Biel nach Thun und von Solothurn nach Fribourg führt. Am Arc Lémanique hat sich die Verteilung von den zwei Schwerpunkten Genf und Lausanne weg zu einer homogeneren Region entwickelt, welche nun auch die Städte Vevey und Nyon einschliesst.

Im Alpenraum kann keine Entwicklung mit ähnlicher Dynamik festgestellt werden. Die alpinen Regionen waren nicht in der Lage, eine ähnliche Entwicklung wie die ehemals ruralen Mittellandgebiete zwischen den Agglomerationen zu vollziehen.

Ähnliche Muster sind auch für die ÖV-seitige Erreichbarkeitsentwicklung feststellbar. Im Vergleich zur Erreichbarkeit des Strassennetzes fallen die über alles gesehen tieferen Werte auf.

1950 können ebenfalls klare Erreichbarkeitsvorteile urbaner Regionen sowie generell tiefe Werte in ruralen und alpinen Regionen festgestellt werden. Verglichen mit der strassenseitigen Erreichbarkeit wirken die Standortvorteile der ÖV Achsen weniger vertikal in die Tiefe (so ist z. B. das Eisenbahnkreuz in Olten sehr gut erkennbar). Im Jahr 2000 kann ein ähnliches Bild gesehen werden, wenn auch wiederum auf einem höheren Level. Speziell der Grossraum Zürich zeigt nun ein homogeneres Bild zwischen Stadt und Land.

Abbildung 1 Vergleich der Erreichbarkeiten zwischen IV und ÖV, sowie zwischen 1950 und 2000 (Variablen: Bevölkerung; Reisezeit)



3 Modellformulierung und Fragestellung

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung ist, den Einfluss des IV und ÖV Netzes, sowie deren Ausbauten, und daraus resultierend der Erreichbarkeit, wie in Kapitel 2 definiert, und ihrer Veränderung über die Zeit auf den Raum zu untersuchen.

Eine ganze Reihe möglicher direkter und indirekter Auswirkungen kommen dabei in Betracht. Frey (1979) nennt dazu in erster Linie die Versorgungs- und Wohnorteffekte, die Kapazitäts- und Standorteffekte, Integrations-, Nivellierungs- bzw. Differenzierungs- und Entleerungseffekte, sowie Siedlungsstruktureffekte. Diese Effekte werden in diesem Bericht mittels der Veränderung der Bevölkerungszahlen, auch nach Alter abgestuft, sowie mit der Veränderung der Arbeitsplatzzahlen, nach Sektoren unterteilt operationalisiert. So schreiben auch Kesselring et al., 1981: „Der Strassennetzausbau zeigt demnach Nivellierungs- und Differenzierungseffekte: Er kann gewisse Räume fördern und andere hemmen, was zu Standort- und Wohnortverlagerungen führt. Damit hat der Strassennetzausbau auch Kapazitäts-, Standorts- und Siedlungsstruktureffekte.“

3.1 Fragestellung

Die Theorie (vgl. z. B. Aschauer, 1989) zeigt, dass Veränderungen der Verkehrsnetze, der Erreichbarkeit in erster Linie auf Demographie und Ökonomie eine Wirkung haben. Auch Kesselring (Kesselring et al., 1982) sieht Einwohner und Arbeitsplätze nach Arbeitsmarktsektoren als besonders wichtige Ansatzpunkte für die Regionalpolitik. Es stehen also Daten über Bevölkerung, Wirtschaft, sowie über Verkehr im Zentrum des Interesses. Durch ihre Veränderung wird die raumwirtschaftliche Entwicklung operationalisiert.

Die Hauptfragestellung kann folgendermassen ausgedrückt werden:

Welches ist der Einfluss der veränderten Erreichbarkeit auf die Kriteriumsvariablen „Veränderung der Zahl der Einwohner, der Arbeitsplätze, der Arbeitskräfte“?

Dies führt zu weiteren Teilfragen:

Wo ist der Einfluss wie stark?

Ist der Einfluss über die Zeit konstant?

Treten die Auswirkungen zeitlich verzögert auf?

In welchem Verhältnis stehen die Auswirkungen der Erreichbarkeit zu den Auswirkungen anderer erklärender Variablen der Raumstruktur?

Verglichen werden nicht die absoluten Werte, sondern deren Entwicklung innerhalb einer Zeitperiode.

Auf der technischen Ebene wird zudem der Frage nach der Güte der verwendeten Variablen und Datensets, sowie nach der Relevanz der Methoden, welche für die Modellschätzungen genutzt wurden, nachgegangen.

4 Das globale Regressionsmodell

In einem ersten Schritt wird die Untersuchung global, also über die ganze Schweiz mit ihren 2896 Gemeinden vorgenommen. Die Untersuchung wird mittels einer multiplen linearen Regression durchgeführt.

4.1 Methodik des globalen Modells

Um die für das globale Modell relevanten Einflüsse zu bestimmen und um nicht relevante Variablen auszuschliessen, wird bei der Regressionsanalyse die so genannte Vorwärtsauswahl gewählt (Bender und Hoffmann, 2003): Zunächst werden alle Einfachregressionen zwischen der abhängigen und der unabhängigen Variable berechnet. Bei der Vorwärtsauswahl beginnt man mit nur einem Regressor und fügt dann, Schritt für Schritt, eine weitere erklärende Variable hinzu. Es wird diejenige Variable als erste in die Regression aufgenommen, welche den höchsten Einfach-Korrelations-Koeffizienten mit dem Regressand besitzt. Die zweite aufgenommene Variable ist diejenige mit dem zweitgrössten Korrelationskoeffizienten u.s.w. Über die Aufnahme der neuen Variablen in das Modell wird anhand des partiellen F-Tests entschieden. Kann eine Variable die Modellgüte nicht verbessern, wird sie nicht in die Berechnung einbezogen. Somit werden bei der Vorwärtsauswahl alle potentiellen Regressoren ausgeschlossen, die bei einem vorgegebene Signifikanzniveau den Regressanden nicht beeinflussen bzw. deren Wirkung bereits adäquat über zuvor berücksichtigte Regressoren erfasst wird.

Als abhängige Variablen untersucht werden die Variablen der Raumnutzungen welche für die Bevölkerungsentwicklung, sowie Arbeitsplatzentwicklung, diese aufgeteilt nach den Sektoren 2 und 3, operationalisiert werden. Als erklärende Variablen dienen Variablen der Erreichbarkeitsentwicklung, aufgeteilt nach totaler Erreichbarkeit, Erreichbarkeit von Bevölkerung und Arbeitsplätzen der Sektoren 2 und 3. Die Modellierung erfolgt für die totale Erreichbarkeit, wie auch für die Unterteilung der Verkehrsnetze nach ÖV und IV. Ebenfalls zur Erklärung beigezogen werden Entwicklungen der Raumnutzung in vorherigen Dekaden, so die Wohnbevölkerung und wiederum die Arbeitsplätze nach Sektoren. Hierbei stellt sich die Frage, ob die relativen oder die Absolutwerte miteinander verglichen werden sollen. Einführende Tests haben ergeben, dass nicht Regressionen mit einer additiven, sondern mit einer multiplikativen Verknüpfung der Variablen, was gleichbedeutend mit der Logarithmisierung der Variablen ist, die besten Resultate liefern. Die räumlichen Auswirkungen im globalen Modell werden im Folgenden beschrieben.

4.2 Empirische Ergebnisse

In einem ersten Schritt interessiert die Frage, inwiefern und in welchem Ausmass die Erreichbarkeit im Vergleich zu anderen Einflussfaktoren raumprägend ist. Raumprägend bedeutet hier, dass die raumprägenden Variablen in diesem Fall die Bevölkerungsentwicklung beeinflussen. Als abhängige Variable wird demnach die Bevölkerungsentwicklung angenommen. Als unabhängige Variablen werden neben der Erreichbarkeit die Arbeitsplatzentwicklung der Sektoren 2 und 3, sowohl in der Gegenwart, wie auch in der Vorperiode, sowie die Bevölkerungsentwicklung der vorangegangenen Zeitperiode aufgenommen. Auf diese Weise wird ein Modell geschätzt, welches wesentliche Einflüsse auf die Entwicklung der Bevölkerung einbezieht. Gesucht werden Faktoren aus der vergangenen ($t-1$) und der laufenden Periode (t). Die einzelnen Perioden dauern jeweils ein Jahrzehnt. Tabelle 1 gibt hierzu einen Überblick.

Tabelle 1 Übersicht Variablen im globalen Modell

Periode (Jahrzehnt)		←	$t-1$	→	←	t	→
Abhängige Variable	Bevölkerungsentwicklung					ΔBEV_t	
Unabhängige Variablen	Bevölkerungsentwicklung		ΔBEV_{t-1}				
	Arbeitsplatzentwicklung Sektor 2		$\Delta AB2_{t-1}$			$\Delta AB2_t$	
	Arbeitsplatzentwicklung Sektor 3		$\Delta AB3_{t-1}$			$\Delta AB3_t$	
	Erreichbarkeitsentwicklung total IV		ΔEIV_{t-1}			ΔEIV_t	
	Erreichbarkeitsentwicklung total ÖV		$\Delta EÖV_{t-1}$			$\Delta EÖV_t$	

t Betrachtetes Jahrzehnt; $t = 1950-1960, 1960-1970, 1970-1980, 1980-1990, 1990-2000$

Im Modell wurden 9 erklärende Variablen aus zwei aufeinander folgenden Jahrzehnten verwendet. Auf diese Weise wurden 4 Modelle für Bevölkerungsentwicklung zwischen 1950 und 2000 geschätzt.

Tabellen 2-4 fassen das Ergebnis des Auswahlverfahrens für die verschiedenen Modelle zusammen. Die Bevölkerungsentwicklung scheint von acht der geprüften Variablen in den meisten Fällen abhängig zu sein. Diejenigen Variablen mit dem grössten Einfluss sind die Erreichbarkeitsentwicklungen des öffentlichen Verkehrs in der Periode t , die Erreichbarkeitsentwicklung IV in der Periode t , sowie die Bevölkerungsentwicklung in der Vorperiode $t-1$. Diese Variablen weisen auch die höchsten t Werte auf. Die Variable Erreichbarkeitsentwick-

lung ÖV der Vorperiode $t-1$ wurde allerdings aus dem Modell ausgeschlossen, die Variablen des Individualverkehrs der Periode $t-1$, sowie der Arbeitsplätze des 2. Sektors der Periode t beeinflussen die abhängige Variable negativ. Als Vergleich dazu wird dasselbe Modell, allerdings mit den nächsten Perioden zur Gegenwart (t : 1990-2000, $t-1$: 1980-1990) hingezogen (Tabelle 3). Wiederum werden acht Variablen zugelassen. Diejenigen Variablen mit dem grössten Einfluss sind wieder die Erreichbarkeitsentwicklungen des öffentlichen Verkehrs in der Periode t , die Erreichbarkeitsentwicklung IV in der Periode t , sowie die Bevölkerungsentwicklung in der Vorperiode $t-1$. Ausgeschlossen wird dieses mal die Variable Arbeitsplätze Sektor 2 der Periode t . Im Vergleich weist das Modell der Gegenwart allerdings ein deutlich kleineres adjustiertes Bestimmtheitsmass von nunmehr 0.292 auf, die Modellgüte ist also markant gesunken.

Tabelle 2 Erklärung der Entwicklung der Bevölkerung ($t = 1960-1970$)

Variablen:	Koeffizienten	t Statistik		
Konstante	0.163	1.304		
$\Delta EÖV_t$	0.662	43.433		
ΔBEV_{t-1}	0.248	14.696		
$\Delta AB3_t$	0.047	7.283		
ΔEIV_t	0.122	8.191		
ΔEIV_{t-1}	-0.162	-5.677		
$\Delta AB2_{t-1}$	0.040	5.818		
$\Delta AB2_t$	-0.029	-6.163		
$\Delta AB3_{t-1}$	0.026	2.618		
Ausgeschlossene Variablen: $\Delta EÖV_{t-1}$				
ANOVA:	Freiheitsgrade	Mittlere Quadratsummen	F	Sig
Regression	8	11.905	743.089	0.000
Residuen	2639	0.016		
Gesamt	2647			
Regressionsstatistik:				
Adjustiertes Bestimmtheitsmass:	0.692	Standardfehler:	0.127	

Tabelle 3 Erklärung der Entwicklung der Bevölkerung ($t = 1990-2000$)

Variablen:	Koeffizienten	t Statistik		
Konstante	1.156	8.220		
$\Delta EÖV_t$	0.221	19.904		
ΔBEV_{t-1}	0.092	5.216		
$\Delta AB3_t$	0.016	3.475		
ΔEIV_t	0.228	9.349		
ΔEIV_{t-1}	0.077	4.409		
$\Delta AB2_{t-1}$	0.025	4.258		
$\Delta AB3_{t-1}$	0.042	3.658		
$\Delta EÖV_{t-1}$	0.054	3.305		
Ausgeschlossene Variablen: $\Delta AB2_t$				
ANOVA:	Freiheitsgrade	Mittlere Quadratsummen	F	Sig
Regression	8	1.3	138.111	0.000
Residuen	2653	0.009		
Gesamt	2661			
Regressionsstatistik:				
Adjustiertes Bestimmtheitsmass:	0.292	Standardfehler:	0.097	

Neben den beiden abgebildeten Modellen (siehe Tabellen 1 und 2) wurden auch in gleicher Weise Modelle mit den übrigen Zeitperioden geschätzt. Alle Modelle hier abzubilden würde zu weit führen. Zusammenfassend seien in Tabelle 4 die die Erreichbarkeiten repräsentierenden erklärenden Variablen der Modelle aller vier untersuchten Zeitperioden angegeben. Zwei Variablen der ÖV Erreichbarkeit der Vorperiode $t-1$ wurden nicht ins Modell integriert. Interessant ist der grosse Unterschied zwischen dem Einfluss der IV Erreichbarkeit zum Einfluss der ÖV Erreichbarkeit der Periode t . Darauf wird weiter unten eingegangen. Die Stärke des Zusammenhangs zwischen der ÖV Erreichbarkeit der Periode t und der abhängigen Variablen nimmt stetig ab, derweil ein ebensolcher Trend für die Erreichbarkeit des Individualverkehrs nicht ausgemacht werden kann. Ebenso ist es schwierig, Aussagen über die Entwicklungen der Variablen der Vorperiode $t-1$ zu machen. Die Gesamtmodellgüte (Adjustiertes Bestimmtheitsmass) nimmt ebenfalls über die Zeit hin zur Gegenwart stetig ab.

Tabelle 4 Einfluss der Erreichbarkeit der verschiedenen Modelle und Modellgüte

Periode (Jahrzehnt)	ΔEIV_t	ΔEIV_{t-1}	$\Delta EÖV_t$	$\Delta EÖV_{t-1}$	Adj. Bestimmtheitsmass Gesamtmodell
1960-1970	0.122	-0.162	0.662	ausg.	0.692
1970-1980	0.041	0.099	0.659	ausg.	0.594
1980-1990	0.136	0.070	0.514	0.147	0.441
1990-2000	0.228	0.070	0.221	0.054	0.292

Neben der Bevölkerungsentwicklung interessiert die Erklärung der Arbeitsplatzentwicklung in einem analogen Modell. Es wird angenommen, dass auch die Arbeitsplatzentwicklung von raumprägenden Variablen beeinflusst wird.

Im Folgenden (Tabellen 5-8) wird versucht die Arbeitsplätze der Sektoren 2 und 3, jeweils in denselben Zeitperioden, analog wie oben zu erklären. Als abhängige Variablen fungieren jetzt (vergleiche mit Tabelle 1) $\Delta AB2_t$, sowie $\Delta AB3_t$.

Tabelle 5 Erklärung der Entwicklung der Arbeitsplätze Sektor 3 ($t = 1960-1970$)

Variablen:		Koeffizienten	t Statistik	
Konstante		-2.229	-8.582	
$\Delta EÖV_t$		0.361	6.158	
ΔBEV_{t-1}		0.324	6.638	
$\Delta AB3_{t-1}$		0.273	9.525	
ΔEIV_t		0.114	2.693	
$\Delta AB2_t$		0.046	3.412	
ΔBEV_t		0.433	7.656	
Ausgeschlossene Variablen: $\Delta EÖV_{t-1}$, ΔEIV_{t-1} , $\Delta AB2_{t-1}$				
ANOVA:	Freiheitsgrade	Mittlere Quadratsummen	F	Sig
Regression	6	30.875	217.446	0.000
Residuen	2641	0.142		
Gesamt	2647			
Regressionsstatistik:				
Adjustiertes Bestimmtheitsmass:	0.329	Standardfehler:	0.378	

In der frühen Zeitperiode (1950-1960) sind für die Arbeitsplatzentwicklung im 3. Sektor, ähnlich wie in den Modellen oben festgestellt, wiederum die Erreichbarkeitsentwicklung ÖV der Periode t und die Bevölkerungsentwicklung der Perioden t und $t-1$, aber auch die Arbeitsplatzentwicklung des dritten Sektors der Vorperiode am relevantesten. Die Modellgüte ist mit 0.329 allerdings bedeutend schlechter als für die Modelle zur Bevölkerungsentwicklung im selben Jahrzehnt. Im Modell für die 90er Jahre sind es wiederum dieselben unabhängigen Variablen, welche den grössten Beitrag zur Erklärung liefern (Tabelle 6).

Tabelle 6 Erklärung der Entwicklung der Arbeitsplätze Sektor 3 ($t = 1990-2000$)

Variablen:		Koeffizienten	t Statistik	
Konstante		1.805	4.601	
$\Delta EÖV_t$		0.492	10.343	
ΔBEV_{t-1}		0.288	4.957	
$\Delta AB3_{t-1}$		-0.471	-10.231	
ΔBEV_t		0.316	4.086	
Ausgeschlossene Variablen: $\Delta EÖV_{t-1}$, $\Delta AB2_{t-1}$, $\Delta AB2_t$, ΔEIV_{t-1} , ΔEIV_t				
ANOVA:	Freiheitsgrade	Mittlere Quadratsummen	F	Sig
Regression	4	13.106	82.235	0.000
Residuen	2657	0.159		
Gesamt	2661			
Regressionsstatistik:				
Adjustiertes Bestimmtheitsmass:	0.109	Standardfehler:	0.399	

Hierbei fallen drei Punkte auf: Erstens reagiert die Arbeitsplatzentwicklung in der Periode t stark negativ auf diejenige der Vorperiode, es scheinen sich in den 90er Jahren Verdrängungseffekte zu zeigen, die Arbeitsplätze entstehen dort, wo noch freier Platz dafür ist. Zweitens ist beachtenswert, dass die IV Erreichbarkeitsentwicklung gar nicht mehr in das Modell zugelassen wurde, also für die Arbeitsplatzentwicklung im 3. Sektor in diesem Zeitraum nicht mehr relevant ist. Desweiteren hat die Modellgüte wiederum abgenommen, das adjustierte Bestimmtheitsmass beträgt nur noch 0.109.

Tabelle 7 Erklärung der Entwicklung der Arbeitsplätze Sektor 2 ($t = 1960-1970$)

Variablen:		Koeffizienten	t Statistik	
Konstante		-2.161	-7.360	
$\Delta EÖV_t$		1.252	15.938	
$\Delta AB2_{t-1}$		0.403	14.696	
ΔBEV_t		-0.511	-6.658	
ΔEIV_t		0.215	3.660	
$\Delta AB3_{t-1}$		0.077	2.913	
Ausgeschlossene Variablen: $\Delta EÖV_{t-1}$, ΔEIV_{t-1} , ΔBEV_{t-1} , $\Delta AB3_{t-1}$				
ANOVA:	Freiheitsgrade	Mittlere Quadratsummen	F	Sig
Regression	5	54.728	198.342	0.000
Residuen	2642	0.276		
Gesamt	2647			
Regressionsstatistik:				
Adjustiertes Bestimmtheitsmass:	0.272	Standardfehler:	0.525	

Noch tiefer liegen die adjustierten Bestimmtheitsmasse für die Modelle, welche die Arbeitsplatzentwicklung im zweiten Sektor erklären (Tabelle 7 und 8). Auch werden in diesen Modellen deutlich weniger Variablen zugelassen als in denjenigen Modellen mit den Bevölkerungsentwicklungen als abhängige Variablen. Den grössten Erklärungsanteil liefert wieder die Variable der Erreichbarkeitsentwicklung ÖV in Periode t und die Arbeitsplatzentwicklung des zweiten Sektors in der Vorperiode $t-1$. Die IV Erreichbarkeit ist nur im frühen Modell einbezogen. Die Arbeitsplätze des einen beeinflussen die Arbeitsplätze des jeweils anderen Sektors kaum, da scheinen weder Verdrängungs- noch Kumulationseffekte aufzutreten. Wiederum beeinflusst im Modell der 90er Jahre die Arbeitsplatzentwicklung der Vorperiode $t-1$ diejenige der Periode t deutlich negativ.

Tabelle 8 Erklärung der Entwicklung der Arbeitsplätze Sektor 2 ($t = 1990-2000$)

Variablen:		Koeffizienten	t Statistik	
Konstante		2.287	5.028	
$\Delta EÖV_t$		0.625	9.943	
$\Delta EÖV_{t-1}$		0.241	3.102	
$\Delta AB2_{t-1}$		-0.404	-11.461	
Ausgeschlossene Variablen: ΔEIV_t , ΔEIV_{t-1} , $\Delta AB3_t$, $\Delta AB3_{t-1}$, ΔBEV_t , ΔBEV_{t-1}				
ANOVA:	Freiheitsgrade	Mittlere Quadratsummen	F	Sig
Regression	3	25.065	72.654	0.000
Residuen	2658	0.345		
Gesamt	2661			
Regressionsstatistik:				
Adjustiertes Bestimmtheitsmass:	0.075	Standardfehler:	0.587	

Bis dahin wurden verschiedene Variablen auf Einflüsse auf Bevölkerungs- und Arbeitsplatzentwicklungen im globalen Modell geschätzt. Dabei konnte eine Auswirkung, wenn auch über die Zeit und auf die verschiedenen abhängigen Variablen unterschiedlich stark, festgestellt werden. Die Berechnungen haben gezeigt, dass die Entwicklung der Bevölkerung gegenüber den anderen Raumnutzungen deutlich besser modellierbar ist. Die Regression der Vorwärtsauswahl sieht für alle Modelle als einflussreichste Variablen die Erreichbarkeit ÖV, die Erreichbarkeit IV (jeweils der Perioden t), sowie die Bevölkerungsentwicklung der Periode $t-1$ für die Bevölkerungsentwicklung, um die abhängige Variable, die Raumnutzung zu erklären. Diese Resultate ermutigen daher, die Erreichbarkeit nun gesondert in folgendem Modell genauer zu untersuchen: Als abhängige Variable einbezogen wird das Delta der Erreichbarkeit zwischen 1950 und 2000, genauer die logarithmierte relative Bevölkerungsentwicklung in einem Zeitraum von 50 Jahren. Unabhängige Variablen sind die logarithmierten Erreichbarkeitsentwicklungen eines jeden Jahrzehnts. Die abhängige wird demnach anhand fünf unabhängiger Variablen untersucht. Es wird die Frage beantwortet, ob die Stärke des Zusammenhangs einem Trend unterliegt. Wiederum wird das multiplikative Modell verwandt, dabei wird, da die Erreichbarkeit als Raum prägende Variable mit der Vorwärtsauswahl bereits ausgemacht werden konnte, mit einer herkömmlichen Regressionsanalyse gearbeitet (siehe Tabelle 9).

Tabelle 9 Erklärung der Bevölkerungsentwicklung über die verschiedenen Jahrzehnte ÖV

Variablen:		Koeffizienten	t Statistik		
Konstante		-17.400	-89.717		
$\Delta EÖV_{5060}$		0.935	44.723		
$\Delta EÖV_{6070}$		1.007	54.329		
$\Delta EÖV_{7080}$		1.190	50.361		
$\Delta EÖV_{8090}$		0.981	41.170		
$\Delta EÖV_{9000}$		0.658	29.530		
ANOVA:	Freiheitsgrade	Mittlere Quadratsummen	F		Sig
Regression	5	140.342	3428.772		0.000
Residuen	2882	0.041			
Gesamt	2887				
Regressionsstatistik:					
Adjustiertes Bestimmtheitsmass:	0.856	Standardfehler:	0.202		

Die Erklärungsanteile der Erreichbarkeitsentwicklungen ÖV in Zehnjahresschritten für die Bevölkerungsentwicklung über 50 Jahre wird im Regressionsmodell in Tabelle 9, jene der Erreichbarkeitsentwicklungen IV in Tabelle 10 angegeben. Der Wert der Koeffizienten im ÖV Modell nehmen über die Zeit zu, erreichen in den 70er Jahren einen Höhepunkt und sinken seitdem wieder langsam. Alle Koeffizienten sind hoch signifikant, das adjustierte Bestimmtheitsmass ist mit 0.856 sehr hoch. Für das Modell mit IV Erreichbarkeiten (Tabelle 10) können keine ähnlichen Aussagen gemacht werden, ein Trend für die Koeffizientenwerte kann nicht ausgewiesen werden. Diese sind zwar auch signifikant, allerdings deutlich weniger stark als im ÖV Modell, auch liegt das adjustierte Bestimmtheitsmass mit 0.1 viel tiefer.

Tabelle 10 Erklärung der Bevölkerungsentwicklung über die verschiedenen Jahrzehnte IV

Variablen:		Koeffizienten	t Statistik	
Konstante		-18.314	-10.047	
ΔEIV_{5060}		0.724	3.066	
ΔEIV_{6070}		1.103	8.367	
ΔEIV_{7080}		0.790	4.973	
ΔEIV_{8090}		0.691	3.537	
ΔEIV_{9000}		1.533	5.545	
ANOVA:	Freiheitsgrade	Mittlere Quadratsummen	F	Sig
Regression	5	72.154	59.690	0.000
Residuen	2641	1.209		
Gesamt	2646			
Regressionsstatistik:				
Adjustiertes Bestimmtheitsmass:	0.100	Standardfehler:	1.099	

4.3 Zusammenfassung

Die Modelle sind als einen einfachen Versuch, die Raumstruktur zu erklären zu verstehen, dies im Wissen, dass eine Vielzahl weiterer, hier nicht berücksichtigter Variablen raumprägend sein können. Trotzdem lassen die Analysen obiger Modelle folgende Schlussfolgerungen zu: 1. Bevölkerung und Arbeitsplätze reagieren elastischer auf ÖV- denn auf IV Erreichbarkeitsveränderungen. 2. Die Erreichbarkeit hat grössere Einflüsse auf die Bevölkerung- und Arbeitsplatzentwicklung Sektor 2, denn auf die Arbeitsplatzentwicklung des dritten Sektors. 3. Die Modellgüte ist für die Arbeitsplatzmodelle geringer als für die Bevölkerungsmodelle. Die Einflüsse auf die jeweils unabhängige Variable scheinen sich für alle Modelle über die Zeit stetig zu verkleinern. Für eine detailliertere Analyse siehe auch die Konklusion in Kapitel 6.

Die oben verwendeten Modelle weisen allerdings ihre Limitationen auf. Die Schweiz ist im Untersuchungszeitraum um über 2.5 Mio. Einwohner gewachsen was einem Bevölkerungswachstum von annähernd 50 % entspricht, ähnlicher Wachstumsraten gelten auch für die Arbeitsplätze der Sektoren 2 und 3. Es versteht sich also von selbst, dass diese vor allem exogen

bedingten Einflüsse (Nettoimmigration) praktisch überall zu (absolutem) Wachstum geführt hat, wenn auch regional unterschiedlich stark. In den folgenden Modellen werden die Daten daher „zentriert“, das heisst, die abhängigen Variablen werden relativ zu ihrem mittleren Wachstum der ganzen Schweiz angesehen. Auf diese Weise können externe Einflüsse (temporär erhöhte Immigrationsraten und (globale) Konjunkturschwankungen) herausgefiltert werden, was regionale Wachstumsdisparitäten über die Zeit besser erkennen lässt. Ebenfalls werden die Modelle in der Folge nicht mehr global über die Schweiz geschätzt, sondern all-fällige regionale Unterschiede werden einbezogen.

5 Hierarchische Regressionsmodelle

In diesem zweiten Teil wird die Analyse um eine räumliche Komponente erweitert, die Schweiz in ihre politischen Hierarchien unterteilt, um so der starken geographischen Relevanz der Fragestellung genügen zu können. Es gibt eine Vielzahl von Anwendungen, welche in der Lage sind, geographisch definierte Daten statistisch zu verarbeiten (siehe Tschopp, 2004). In dieser Arbeit wird hierzu der Ansatz der Hierarchischen Modelle oder auch Multilevel Models verwendet. Es gibt verschiedene Beispiele von Forschungsprojekten zur räumlichen Variation, in denen Multilevel Modelle zur Anwendung kamen, um zum Beispiel räumliche Muster von Hauspreisen, Konsumgüterpreisen und Abstimmungsverhalten oder die geographische Variation der Nutzung des Gesundheitssystems zu untersuchen (siehe Fotheringham, 2001).

In einer ersten Phase wird der Ansatz des Multilevel Models beschrieben und erste Schätzungen berechnet und kommentiert. In einer zweiten Phase werden die Modelle um die Komponente Zeit erweitert. Dabei stehen verschiedene Herangehensweisen zur Verfügung. Drei davon werden zu Modellschätzungen herangezogen, sie werden beschrieben und deren Vor- und Nachteile kommentiert.

5.1 Ansatz der hierarchischen Modelle

Hierarchische Modelle wurden zuerst in der empirischen Sozialforschung verwendet. Die typische Aufgabe des Multilevel Modelling ist die Trennung von persönlichen und örtlichen Charakteristika des Verhaltens (Goldstein 1987; Jones 1991). In der Sozialforschung ist häufig das einzelne Individuum die unterste Analyseeinheit. In diesem Forschungsprojekt sind es die einzelnen Gemeinden. Für diese Art der Regressionsanalyse reichen die gängigen Softwarepakete allerdings nicht. In diesem Projekt wird auf die für Multilevel Modelling spezialisierte Software MLwiN Version 2.2 abgestützt (Für den Beschrieb der Software siehe Rashbash, 2000).

Multilevel Modelle versuchen, eine individuelle Ebene, welcher das disaggregierte Verhalten repräsentiert mit einer Makroebene, welcher die kontextuellen (in unserem Fall: räumlichen) Verhaltensvariationen zu kombinieren. Eine räumliche Einteilung eines Untersuchungsgebietes vorzunehmen, impliziert, dass die Natur des räumlichen Prozesses diskontinuierlich ist, d. h. dass sich diese Prozesse also von Raumeinheit zu Raumeinheit unterschei-

den. Das Typische der Multilevel Modelle ist, dass das statistische Modell explizit eine hierarchische Struktur unterstellt und identifiziert. Die genaue Analyse der Hierarchieebene ermöglicht zu verstehen, wo und in welcher Stärke Effekte auftauchen und ob sich diese signifikant unterscheiden.

Ein häufig verwendetes Multilevel Modell ist das Zwei-Ebenen Modell. Als Beispiel könnte man sich Daten von Gemeinden vorstellen, welche zu Kantonen gehören (diese Modellanlage wird im Folgenden auch vielfach so verwendet). Das Modell auf der ersten Ebene stellt dann das Verhältnis zwischen den jeweiligen Daten der Gemeinden dar. Das Modell auf der zweiten Ebene dagegen beschreibt die Einflüsse der Faktoren auf Kantonsebene. $i = 1, \dots, n_j$ sind die Einheiten auf der ersten Ebene (Gemeinden), die den $j = 1, \dots, J$ Einheiten der zweiten Ebene (Kantone) zugeteilt sind.

$$y_{ij} = \beta_{0ij}x_0 + \beta_{1j}x_{1ij}$$

wobei:

$$\beta_{0ij} = \underbrace{\beta_0}_{\text{Fixer Teil}} + \underbrace{u_{0j} + e_{0ij}}_{\text{Random Teil}}$$

und

$$\beta_{1ij} = \underbrace{\beta_1}_{\text{Fixer Teil}} + \underbrace{u_{1j} + e_{1ij}}_{\text{Random Teil}}$$

wobei:

- y abhängige Variable (z. B. Bevölkerungsentwicklung)
- $\beta_{0,1}$ Parameter
- x_0 Konstante
- x_1 unabhängige Variable (z. B. Erreichbarkeitsentwicklung)
- u Residuen (Abweichung des y -Achsenabschnittes (resp. Steigung) des j -en Kantons vom Gesamtwert)
- e Residuen (Abweichung des Wertes der i -ten Gemeinde vom vorhergesagten Wert)
- i Ebene 1 (Gemeinde)
- j Ebene 2 (Kanton)

Zusammenfassend: u_{0j} und u_{1j} sind die Residuen von β_0 und β_1 auf der Kantonebene. Sie erlauben der Regressionsgeraden des Kantons j sich in beidem, der Steigung und der Konstante, von der Durchschnittsline zu unterscheiden, definiert durch β_1 und β_2 . β_1 und β_2 werden daher als „Fixed Part“ bezeichnet, u_{ij} und e_{ij} , die Residuen im Modell sind der „Random Part“. Statt nun eine Regressionslinie zu konstruieren, werden 23 Regressionsgeraden (eine für jeden Kanton) berechnet. Die individuellen Werte einer jeden Gemeinde variieren mit dem Wert e um die Regressionsgerade für den gesamten Untersuchungsraum, die Werte jedes Kantons mit dem Wert u um die globale Regressionsgerade.

Eine räumliche Einteilung eines Untersuchungsgebietes vorzunehmen, setzt allerdings die Diskontinuität eines räumlicher Prozesses voraus. Diese Prozesse können sich also von Raumeinheit zu Raumeinheit unterscheiden. Fotheringham (Fotheringham, 2000) nennt dazu Regionen, in denen die Politik irgendein räumliches Verhalten beeinflussen kann und sich diese Politik von Raumeinheit zu Raumeinheit stark unterscheiden kann. Als Beispiele nennt er die relativ autonomen amerikanischen Bundesstaaten. Es scheint daher legitim, in derselben Analogie für die Modelle in diesem Projekt den Untersuchungsraum in die verschiedenen schweizerischen Kantone aufzuteilen. Diese sind allerdings nicht immer in sich geschlossene geographische Einheiten. Trotzdem ist es sinnvoll, die räumliche Abgrenzung für die zweite Ebene auf diese Weise vorzunehmen, liegt doch in der föderalen Schweiz ein Grossteil der Kompetenz für die Verkehrsnetzplanung, den Bau und Unterhalt auf kantonaler Ebene.

5.2 Hierarchische Modellschätzungen

Aus den ersten und noch über die ganze Schweiz geschätzten Modellen in Kapitel 4 geht also überall, wenn auch in unterschiedlicher Stärke hervor, dass eine positive Korrelation zwischen Erreichbarkeitsentwicklung und der Entwicklung der Bevölkerung, respektive Arbeitsplätze besteht. Dieser Tatsache soll in diesem Kapitel detaillierter untersucht werden. Es wird dabei im speziellen der Frage nach regionalen Unterschieden nachgegangen.

In einem konkreten ersten und einfachen Beispiel eines hierarchischen Modells wird aufgrund der in Kapitel 4 gewonnenen Erkenntnisse wiederum die Bevölkerungsentwicklung mit der Erreichbarkeitsentwicklung erklärt. Die abhängige Variable ist wieder die relative Bevölkerungsentwicklung (jetzt allerdings relativ zur gesamtschweizerischen Entwicklung), die unabhängige Variable ist die absolute Erreichbarkeitsentwicklung Personen für den IV. Von Interesse ist aber die Stärke des Zusammenhanges. Mit einer hierarchischen Regression können folgende Fragen beantwortet werden: Wo ist ein Zusammenhang feststellbar und wie stark ist er? Um diese räumlichen Unterschiede herausarbeiten zu können wird die Schweiz nun nicht

mehr als ganzes betrachtet, sondern sie wird in verschiedene Hierarchiestufen unterteilt. Für die erste Ebene wählen wir, wie in der Einführung beschrieben, die Gemeinden, welche den Kantonen (Zweite Ebene) zugeordnet sind (Siehe Abbildung 2). In diesem, vorerst linearen Modell wird die Auswirkung der Entwicklung der Erreichbarkeit auf die Bevölkerungsentwicklung zwischen 1950 und dem Jahr 2000 untersucht. Abbildung 2 zeigt auf, wie stark die Bevölkerung auf verbesserte Erreichbarkeiten reagiert (was sich in der Steigung der Regressionsgeraden widerspiegelt). Der untere Teil der Abbildung zeichnet die Residuen, sowohl der Steigung, wie auch des Intercepts, der Schnittpunkt der Regressionsgeraden mit der y -Achse, auf und zeigt wie stark sie vom schweizerischen Mittel abweichen. Die Bandbreite gibt den Konfidenzintervall auf dem 95 % Niveau an. Die unterschiedlichen Bandbreiten rühren von den unterschiedlich grossen Stichproben (Anzahl Gemeinden in einem Kanton; je weniger Gemeinden in einer Gruppe der zweiten Ebene zusammengeschlossen sind, desto grösser dieser Intervall) her, was die Konfidenzbereiche entsprechend verschieden breit werden lässt. Rot, respektive blau eingefärbt sind diejenigen Kantone, deren Steigungen (welche die Abhängigkeit der Bevölkerungsentwicklung von der Erreichbarkeitsentwicklung wiedergeben) signifikant über (respektive unter) dem Durchschnitt für die ganze Schweiz liegen. Da die Halbkantone AR und AI, NW und OW, sowie BS und BL aufgrund der kleinen Anzahl Gemeinden (und damit der zu kleinen Anzahl Beobachtungen) zusammengefasst wurden, erscheinen in Abbildung 2 nur 23 Kantone.

Bei der Analyse fällt die unterschiedliche Elastizität der ruralen und alpinen Kantone und den stark besiedelten Mittellandkantonen auf. Während in den Grossräumen und Agglomerationen des Mittellandes, dies v. a. im Dreieck Zürich-Luzern-Basel, sowie im Kanton Genf eine gewisse Sättigung zu existieren scheint, und andere Faktoren als Erreichbarkeit wohl massgebender für die Siedlungsentwicklung sind, scheint sie doch in alpinen eine bedeutende Rolle zu spielen (siehe Abbildungen 2 und 3). Diese Feststellungen werden daher genauer untersucht.

Abbildung 2 Hierarchisches Modell: Regression und Residuen Kantone

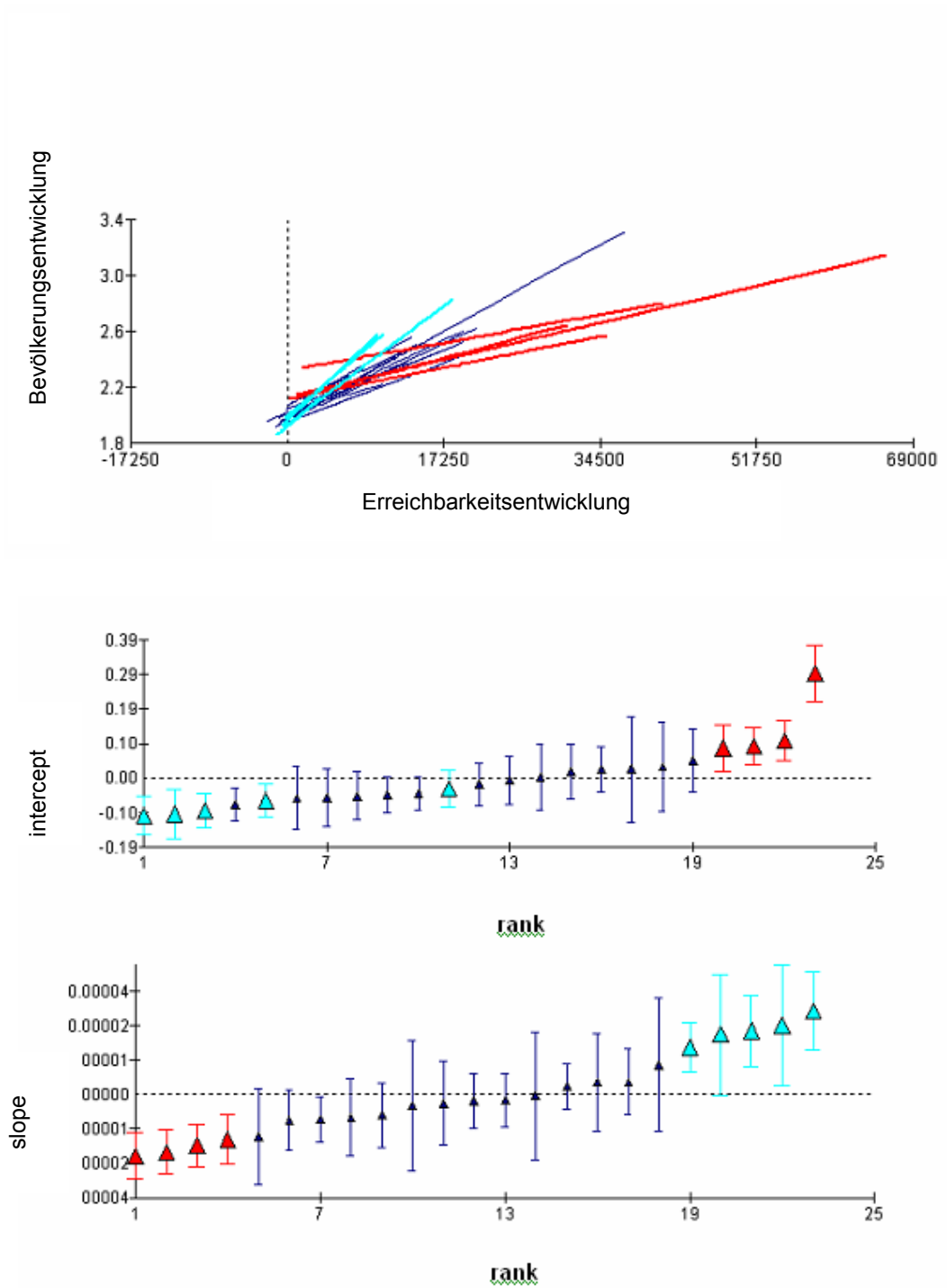


Abbildung 3 Hierarchisches Modell: Regression und Residuen Kantone

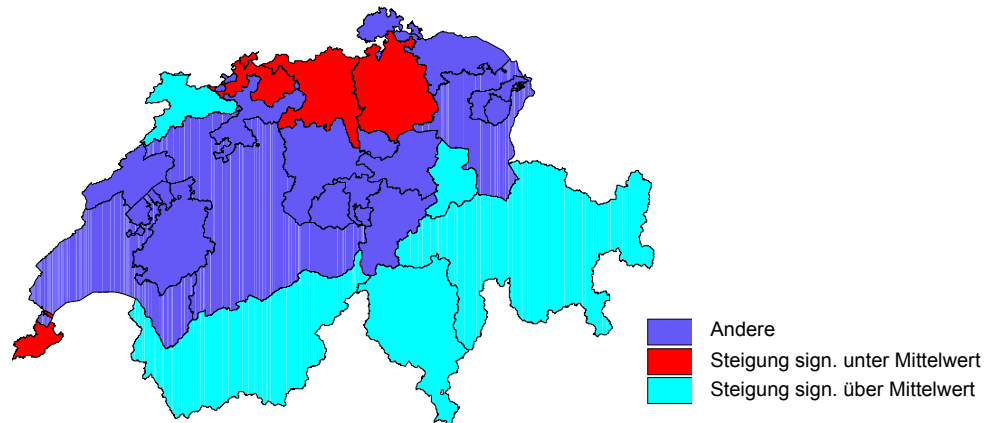
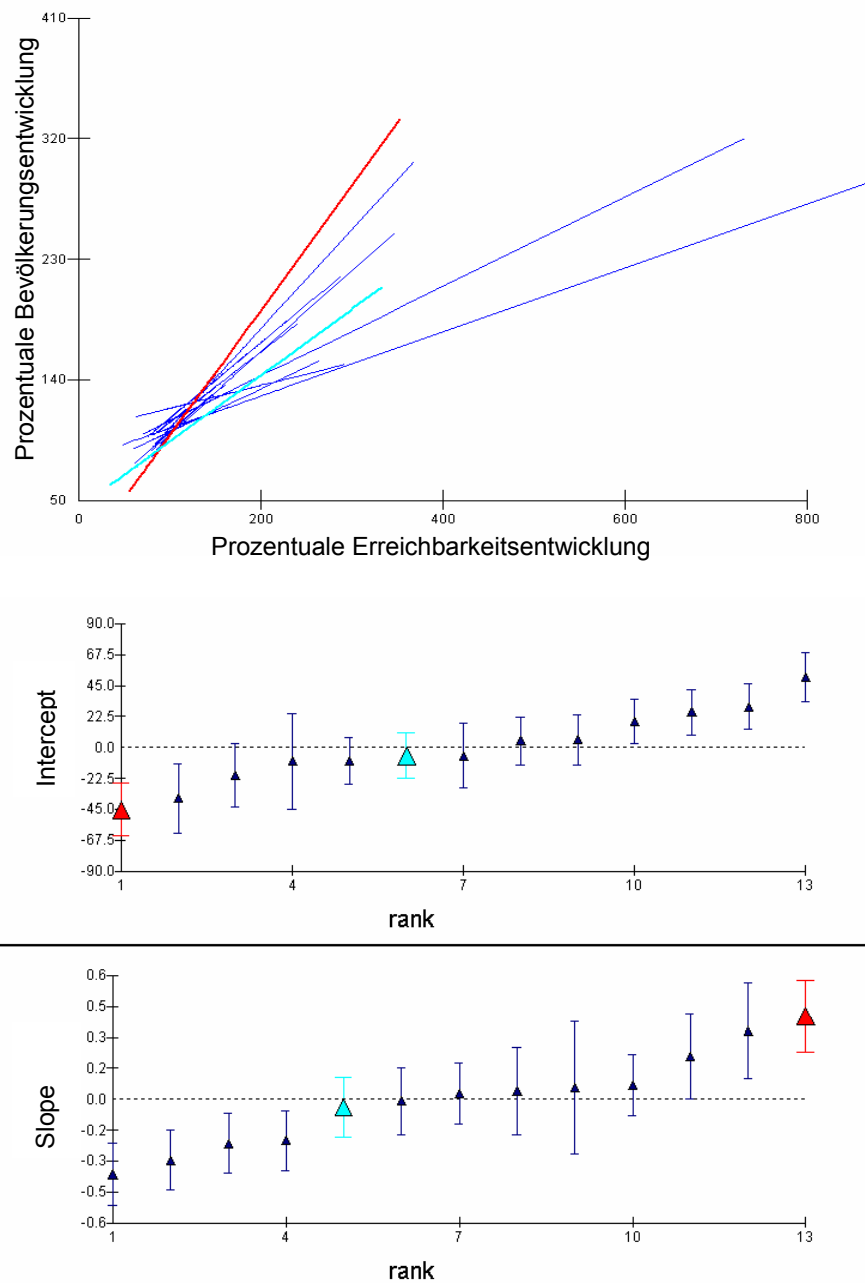


Abbildung 4 zeigt wiederum ein Zweiebenenmodell, allerdings definiert diesmal die zweite Ebene keine räumliche Einteilung mehr sondern eine Einteilung anhand der Gemeindetypen des ARE, welche alle schweizerischen Gemeinden in 13 Typen unterteilt (von Grosszentren bis rurale Gemeinden: 1. Grosszentren, 2. Nebenzentren der Grosszentren, 3. 1. Gürtel grosse Agglomeration, 4. 2. Gürtel grosse Agglomeration, 5. Zentren mittlere/kleine Agglomeration, 6. 1. Gürtel mittlere/kleine Agglomeration, 7. 2. Gürtel mittlere/kleine Agglomeration, 8. Kleinzentren, 9. Wegpendlergemeinden, 10. Industrielle/tertiäre Gemeinden, 11. Semiagrari-sche Gemeinden, 12. Agrarische Gemeinden und 13. Touristische Gemeinden). Die erklärende Variable ist wiederum die relative Erreichbarkeit IV, die abhängige die relative Bevölkerungsentwicklung. Die Achsen geben in diesem Modell jeweils die vom Wert des Ausgangszeitpunktes prozentuale Entwicklung der Variablen an. Was bereits Abbildungen 2 und 3 zeigten, nämlich dass die Bevölkerung in alpinen Regionen sehr elastisch auf Erreichbarkeitsveränderungen reagiert, wird hier bestätigt. Während periphere, rurale Regionen (blaue Regressionsgerade) sich nicht signifikant anders als der schweizerische Durchschnitt verhalten, sehen wir, dass die Prosperität der touristischen Gemeinden (rote Regressionsgerade) stark von der Erreichbarkeitsentwicklung abhängt. Dieser Gemeindetyp weist sowohl den

signifikant tiefsten Intercept (y-Achsenabschnitt) wie auch die grösste Steigung aller Gemeindetypen auf.

Abbildung 4 Hierarchisches Modell: Regression und Residuen Gemeindetypen



Gute Erreichbarkeit scheint also vor allem aber in touristischen Regionen eine bedeutende Rolle für die demographische (und ökonomische) Prosperität einer Gemeinde zu spielen. Touristische Orte entwickeln sich also vor allem dann gut, wenn sie auch gut an die regionale und überregionale Verkehrsinfrastruktur angeschlossen sind.

Diese ersten hierarchischen Modelle zeigen nun, dass diese Art von Regression Resultate gibt, welche in einer gewöhnlichen Regression verborgen bleiben. Diese werden daher in der Folge weiterentwickelt.

5.3 Die Komponente Wachstum im hierarchischen Modell

Das bisher statische Multilevel Modell wird um die Komponente Zeit erweitert um herauszufinden, wann die beobachteten Zusammenhänge wie stark waren und ob diese einem Trend unterliegen. Der Faktor Zeit wird in drei unterschiedlichen Variationen getestet, welche in der Folge diskutiert werden. Das ist zum einen ein Modell, welches die Zeit über Repeated Measures, oder Wachstumsmodelle einbezieht (siehe 3.5.1). Zum anderen sind das Modelle, welche den Beitrag der Entwicklung der verschiedenen Jahrzehnte als unabhängige Variable innehaben. Die unabhängige Variable ist dabei die Bevölkerungsentwicklung über den ganzen Untersuchungszeitraum (analog zu den globalen Modellen z. B. in Tabelle 9). Es ergibt sich auf diese Weise quasi eine Kombination der globalen Modelle mit den räumlichen ersten hierarchischen Modelle ohne zeitliche Komponente (siehe 5.3.2). Weiter wird ein Dreiebenenmodell beschrieben, welches neben der zweiten, oberen Hierarchiestufe mit einer geographischen Einheit (Kantone), zusätzlich eine zeitliche (Jahrzehnte) beinhaltet (siehe 5.3.3). Diese letztgenannten Modelle sind in der Lage die ganze Informationsfülle der vorliegenden, detaillierten Daten, welche in Panelform (feine räumliche Aufteilung über verschiedene Zeitpunkte) vorliegen, zu verarbeiten zu analysieren.

5.3.1 Repeated Measures Modelle

Zunächst werden lineare Repeated Measures, also lineare Zeitreihenanalysen beschrieben. Wiederum werden zwei Ebenen definiert. Die Kantone, in welche die Gemeinden eingebettet sind, definieren die zweite Ebene, die linearen Repeated Measures, oder Occasions, definieren die erste Ebene (vgl. auch Rashbash et al., 2000). Diese Anlage der linearen Longitudinal Repeated Measures, charakterisieren sich durch eine geringe Anzahl Einheiten der ersten Ebene, nämlich die einbezogenen Punkte auf der untersuchten Zeitachse (in diesem Fall 1960, 1970, 1980, 1990 und 2000) und einer Vielzahl Einheiten auf der zweiten Ebene (hier die in die Kantone eingebetteten Gemeinden der Schweiz). Zuerst wird ein lineares Modell ge-

schätzt, welches die absoluten Entwicklungen der ÖV Erreichbarkeiten zwischen 1960 und dem Jahr 2000 beschreibt. Die abhängige Variable ist, anders als bei den Modellen vorhin, die Erreichbarkeitsentwicklung. Die unabhängige Variable ist die Zeit. Das Modell erklärt also, inwieweit die Zeit für die ÖV Erreichbarkeitsentwicklung relevant ist. Berechnet wird die Erreichbarkeitsentwicklung in absoluten Werten. Abbildung 5 zeigt den Output des geschätzten Modells, wie er von MlwiN 2.2 dargestellt wird.

β_{0ij} ist, wie oben definiert der Koeffizient der Konstanten. Er ist positiv und signifikant (Wert der t Statistik in Klammern: 166.328). β_{1ij} ist der Koeffizient der unabhängigen Variablen (in diesem Fall der Zeit). β_{1ij} ist positiv und signifikant (Wert der t Statistik: 53.978), was impliziert, dass die Erreichbarkeit über die Zeit gewachsen ist, was nicht verwundert und mit den Resultaten in Kapitel 4 übereinstimmt.

Abbildung 5 Die Auswirkung der Zeit auf die Erreichbarkeit ÖV (absolute Werte)

$$\text{beving}_{ij} \sim N(XB, \Omega)$$

$$\text{beving}_{ij} = \beta_{0ij} \text{CONS} + \beta_{1ij} \text{timing}_{ij}$$

$$\beta_{0ij} = 1734.409(166.328) + u_{0j} + e_{0ij}$$

$$\beta_{1ij} = 382.299(53.978) + u_{1j}$$

$$\begin{bmatrix} u_{0j} \\ u_{1j} \end{bmatrix} \sim N(0, \Omega_u) : \Omega_u = \begin{bmatrix} 637671.300(199415.000) \\ 192662.200(57434.790) & 66913.760(20701.460) \end{bmatrix}$$

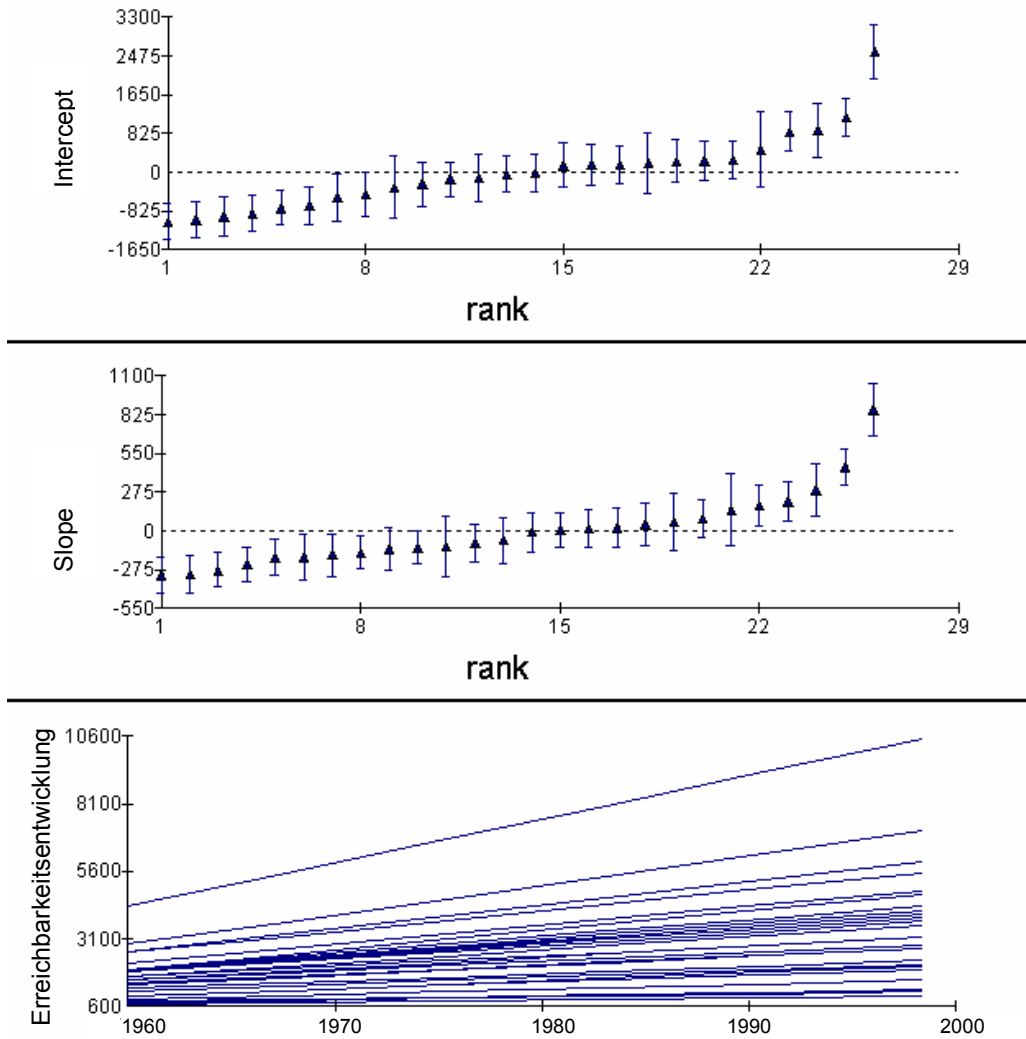
$$\begin{bmatrix} e_{0ij} \end{bmatrix} \sim N(0, \Omega_e) : \Omega_e = \begin{bmatrix} 10756000.000(115660.100) \end{bmatrix}$$

$$-2 * \log \text{likelihood}(\text{IGLS Deviance}) = 330080.300(17340 \text{ of } 17340 \text{ cases in use})$$

u_{0j} gibt die Varianz der Abweichung Konstanten über die verschiedenen Kantone, auf der zweiten Ebene vom schweizerischen, globalen Durchschnitt an, u_{1j} diejenige der Steigungen der Regressionsgeraden der verschiedenen Kantone vom nationalen Mittelwert. e_{0ij} gibt die Varianz der verschiedenen Zeitpunkte, auf der ersten Ebene an. In Klammern stehen jeweils die t Statistiken. Der Wert des Loglikelihood ist ein Mass für die Modellgüte. Sein Wert ist interessant, wenn mit einem anderen, verbesserten Modell verglichen wird. Wird er von Modell zu Modell signifikant kleiner, so hat sich die Modellgüte durch die Veränderungen verbessert. Der Output des geschätzten Modells besagt also, dass die Erreichbarkeit über die Zeit ansteigt (und dies signifikant). Diese Erkenntnis haben schon die globalen Modelle geliefert

und verwundert wenig, auch bei einem nur oberflächlichen Überschlagn der Infrastrukturentwicklung von Strasse und Schiene über die letzten 50 Jahre. Allerdings zeigt dieses Modell, dass signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Kantonen existieren. Die graphische Darstellung des Modells gibt Abbildung 6 wieder.

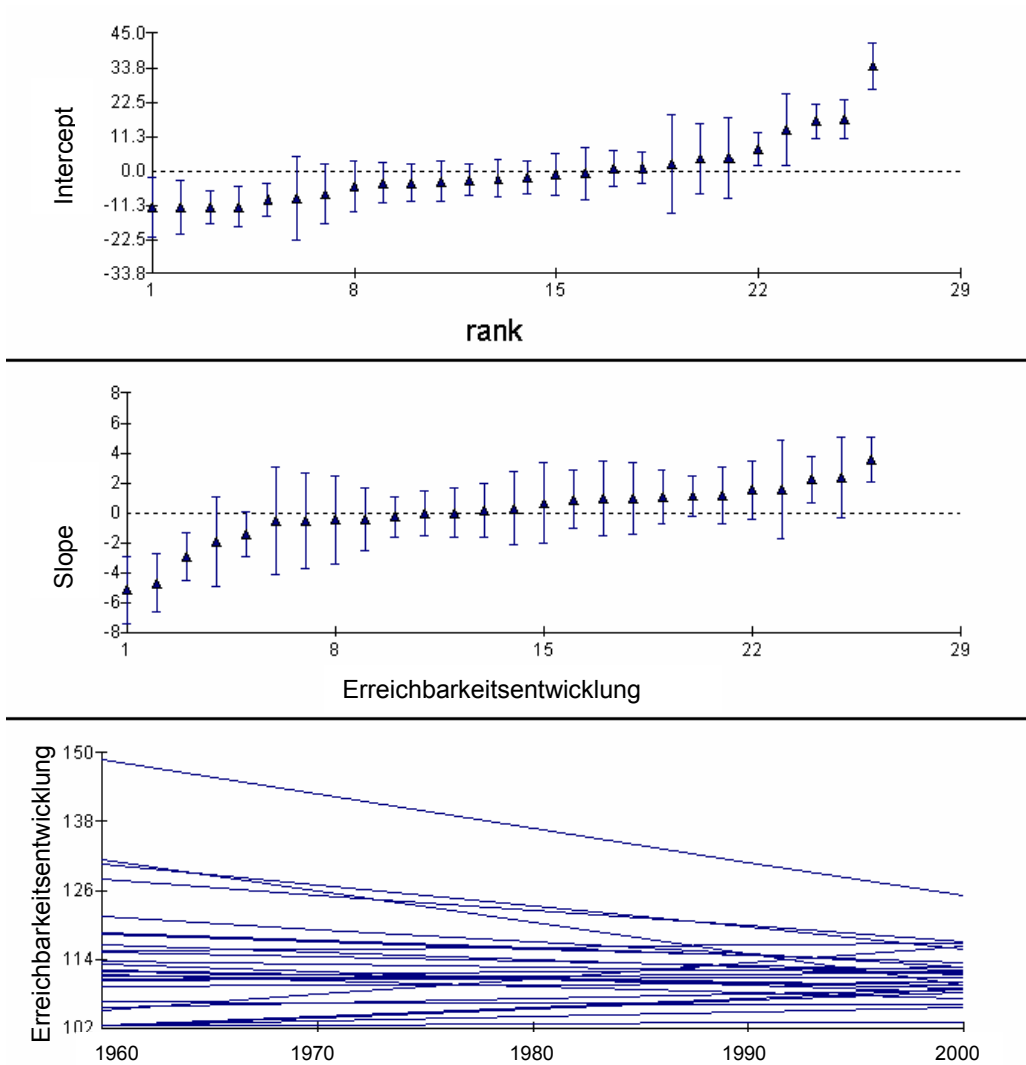
Abbildung 6 Die Auswirkung der Zeit auf die Erreichbarkeit ÖV (absolute Werte)



Die Graphik kann folgendermassen zusammengefasst werden: Kantone, welche zu Beginn (1960) über eine grosse absolute Erreichbarkeit verfügen haben, sind eher in der Lage, ihre Erreichbarkeit über die Zeit absolut zu vergrössern; anders ausgedrückt: Intercept und Slope

korrelieren positiv, die Kantone, welche über einen tiefen Intercept verfügen, weisen auch eine nur geringe Steigung auf. Wiederum ist dieses Resultat wenig erstaunlich, denn bedingt durch die hohen Werte der Potentiale in den Ballungsräumen, nimmt mit (nur geringem) Ausbau der Infrastruktur auch das Potential proportional stärker zu als in peripheren, dünn besiedelten Regionen.

Abbildung 7 Die Auswirkung der Zeit auf die Erreichbarkeit ÖV (relative Werte)



Daher drängt sich eine Analyse mit dem gleichen linearen Repeated Measures Modell, aber diesmal mit den relativen Werten auf (relativ heisst hier: in % des Ausgangswertes). Ein ganz anderes Bild zeigt sich nun (Abbildung 7): Die Regressionsgeraden verlaufen häufig negativ.

Die dazugehörige Modellschätzung ist in Tabelle 11 abgebildet. Die globale Durchschnittsregressionsgerade der ganzen Schweiz ist negativ, allerdings nicht signifikant (negatives β_{1j} , der t Wert beträgt 0.517). Ein Trend über die ganze Schweiz ist nicht festzustellen. Dies bedeutet, dass sich über die Zeit die Erreichbarkeitsverbesserungen in vielen Kantonen abgeschwächt hat. Diese Abschwächung ist dabei vielfach umso stärker ausgefallen, umso höher die Ausgangswerte (Intercepts) waren. Je näher wir zur Gegenwart kommen, desto tiefer sind weitere relative Erreichbarkeitsverbesserungen. Kantone mit geringeren Ausgangswerten dagegen konnten ihre relativen Erreichbarkeitsverbesserungen erhöhen, dabei ist eine Angleichung der Entwicklungen der verschiedenen Kantone über die Zeit festzustellen.

Tabelle 11 Die Auswirkung der Zeit auf die Erreichbarkeit ÖV (relative Werte)

$$\Delta \text{ErrÖVrel} = \beta_{0ij} \text{ cons} + \beta_{1j} \text{ time}_{ij}$$

Fixed part

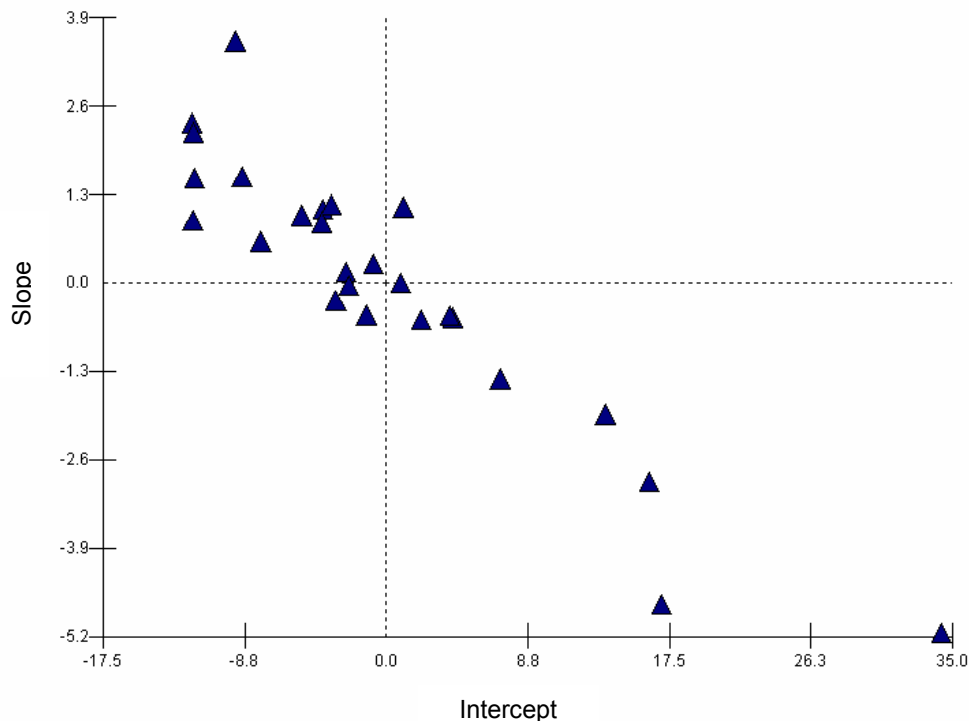
Predictor	Koeffizient	Standard Error
β_{0ij}	114.368	2.351
β_{1ij}	-0.761	0.517

Random part

Abweichung (Varianz) zweite Ebene (Kanton)		
u_{0j}	125.845	39.360
u_{1j}	4.990	1.851
Abweichung (Varianz) erste Ebene (Zeit)		
e_{0ij}	1037.179	12.222
Loglikelihood	141453.000	

Die besprochene negative Korrelation zwischen dem Intercept und den Slopes aller Kantone kann mittels eines „pairwise residual plot“ graphisch dargestellt werden (siehe Abbildung 8). Die Punkte 0 auf der x- und y-Achse sind dabei nicht die absolute Werte, sondern sie zeigen die Mittelwerte über die ganze Schweiz (Darstellungen von Intercept- und Slope, wie z. B. in Abbildung 7) an.

Abbildung 8 Die Auswirkung der Zeit auf die Erreichbarkeit ÖV (relative Werte): Pairwise residual Plot zwischen Slope und Intercept



Die bis hier geschätzten linearen Repeated Measures Modelle haben nur die Erreichbarkeit in Abhängigkeit der Zeit geschätzt. Eine Möglichkeit, die Auswirkung der Erreichbarkeitsentwicklung auf die Bevölkerungsentwicklung in dieser sehr zeitrelevanten Art von Modellen zu zeigen ist, die Elastizität der Beziehungen dieser Variablen zueinander über die verschiedenen Jahrzehnte zu schätzen. Es wird so die Bevölkerungsentwicklung aufgrund der Erreichbarkeitsentwicklung geschätzt. Im folgenden Modell wird daher Quotient aus Bevölkerungs- und Erreichbarkeitsentwicklung je über 10 Jahre analog wie oben über die Zeit geschätzt. Auf diese Weise gelingt es, die Stärke der genannten Zusammenhänge über die Zeit darzustellen und zu beschreiben. Das Modell soll aussagen, inwieweit, wo und zu welcher Zeit Erreichbarkeitsverbesserungen für die Bevölkerungsentwicklung von Belang war.

Die Resultate dieser Schätzung (Tabelle 12) zeigen eine schwache, aber signifikante Zunahme der Abhängigkeit über die Zeit (positives β_{1j} , der t Wert beträgt 0.004). Allerdings verhalten sich die Kantone wiederum heterogen: Zu Beginn tendieren Kantone mit hohen Elastizitäten dazu, über die Zeit tiefere Quotienten zu generieren, was bedeutet, dass sich der Einfluss

der Erreichbarkeitsentwicklung auf die Bevölkerungsentwicklung abschwächt. Dies kann in der graphischen Darstellung der Modellschätzung in Abbildung 9 und im Pairwise Residual Plot zwischen Slope und Intercept in Abbildung 9 gesehen werden. Letztere zeigt ein ähnliches Bild, wie in dem Modell zur Erreichbarkeitsschätzung über die Zeit (Abbildung 10).

Tabelle 12 Die Auswirkung der Zeit auf den Quotienten Erreichbarkeits-/Bevölkerung (relative Werte, linear)

$$\Delta \text{quotÖVbevrel} = \beta_{0ij} \text{ cons} + \beta_{1j} \text{ time}_{ij}$$

Fixed part		
Predictor	Koeffizient	Standard Error
β_{0ij}	-0.064	0.017
β_{1ij}	0.031	0.004
Random part		
Abweichung (Varianz) zweite Ebene (Kanton)		
u_{0j}	0.007	0.002
u_{1j}	0.000	0.000
Abweichung (Varianz) erste Ebene (Zeit)		
e_{0ij}	0.029	0.000
Loglikelihood	-10066.100	

Abbildung 9 Die Auswirkung der Zeit auf die Erreichbarkeits-/Bevölkerungsquotienten (relative Werte, linear)

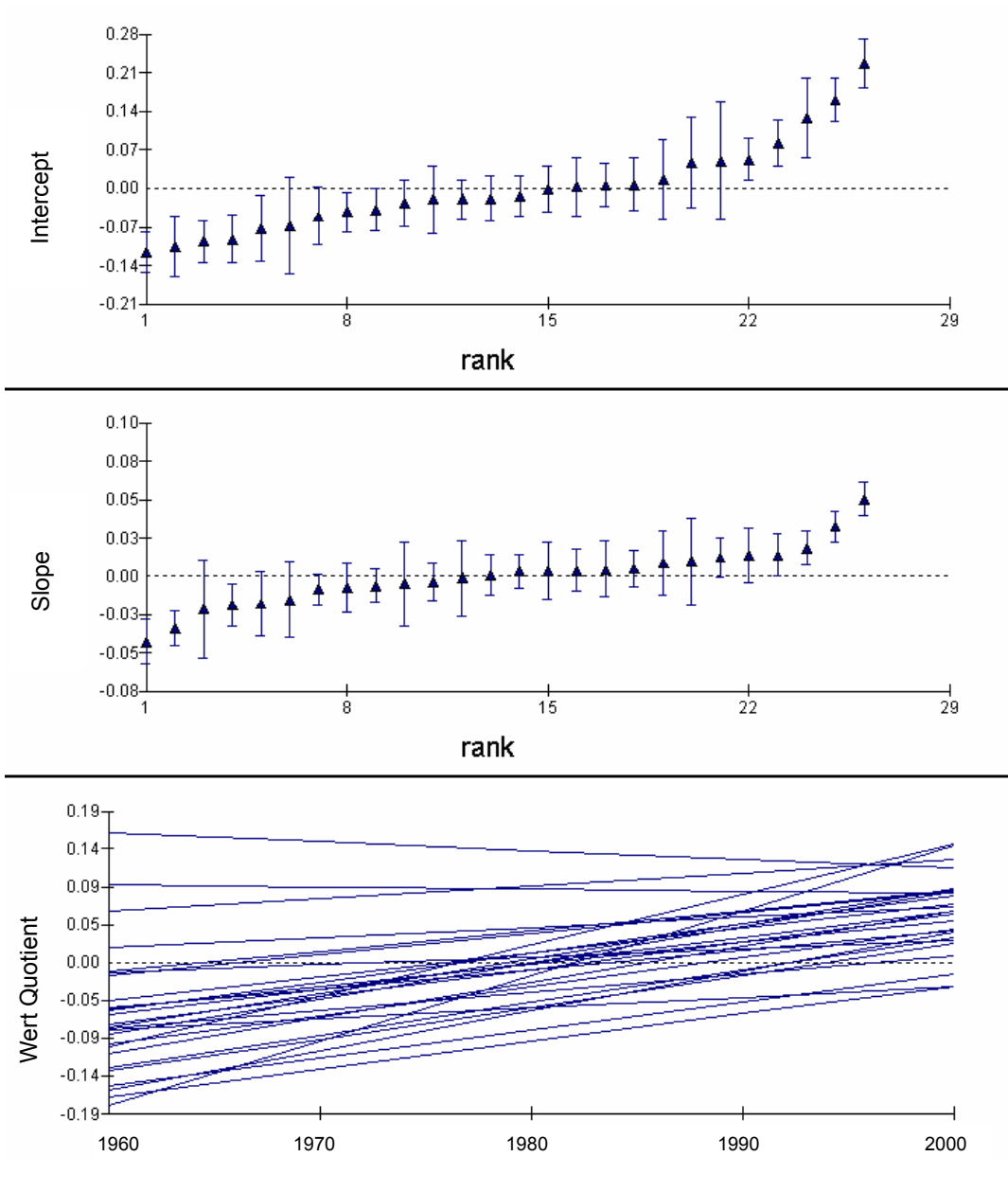
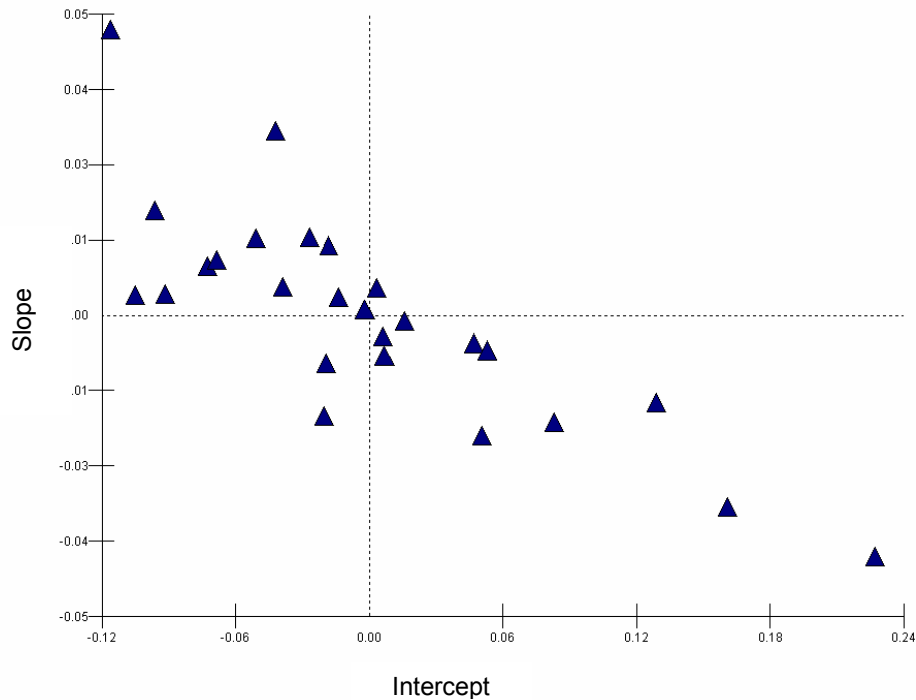


Abbildung 10 Die Auswirkung der Zeit auf die Erreichbarkeits-/Bevölkerungsquotienten (relative Werte): Pairwise residual Plot zwischen Slope und Intercept



Die Entwicklung der Erreichbarkeit oder der Erreichbarkeitsbeziehungen muss allerdings nicht (und wird es wahrscheinlich auch nicht) einer linearen Entwicklung folgen. Auch aufgrund des nur schwach positiven Zusammenhangs (Wert β_{1j} von 0.031) im vorangegangenen Modell, drängt sich daher eine weitere Schätzung auf, welche auf einem nichtlinearen Modell aufbaut. Ein einfacher Weg, Nichtlinearität in eine Modellschätzung einzubauen ist, einen weiteren, quadratischen Term für die Zeit einzufügen. Das neue Modell besteht daher aus zwei unabhängigen Variablen.

Was vermutet wurde, tritt ein: Wie erwartet ist der Wert für den Parameter β_{1j} immer noch positiv und signifikant (siehe Tabelle 13), allerdings ist er mit 0.069 doppelt so hoch wie im vorangegangenen, linearen Modell. Der Parameter β_{2j} ist allerdings mit -0.009 negativ und ebenfalls signifikant. Diese Parameterschätzungen implizieren, dass sich der positive Trend im Mittel über die ganze Schweiz, gegen die Gegenwart hin, abschwächt.

Tabelle 13 Die Auswirkung der Zeit auf die Erreichbarkeits-/Bevölkerungsquotienten (relative Werte, nichtlinear)

$$\Delta \text{ErrÖVrel} = \beta_{0ij} \text{ cons} + \beta_{1j} \text{ time}_{ij} + \beta_{2j} \text{ timesq}_{ij}$$

Fixed part

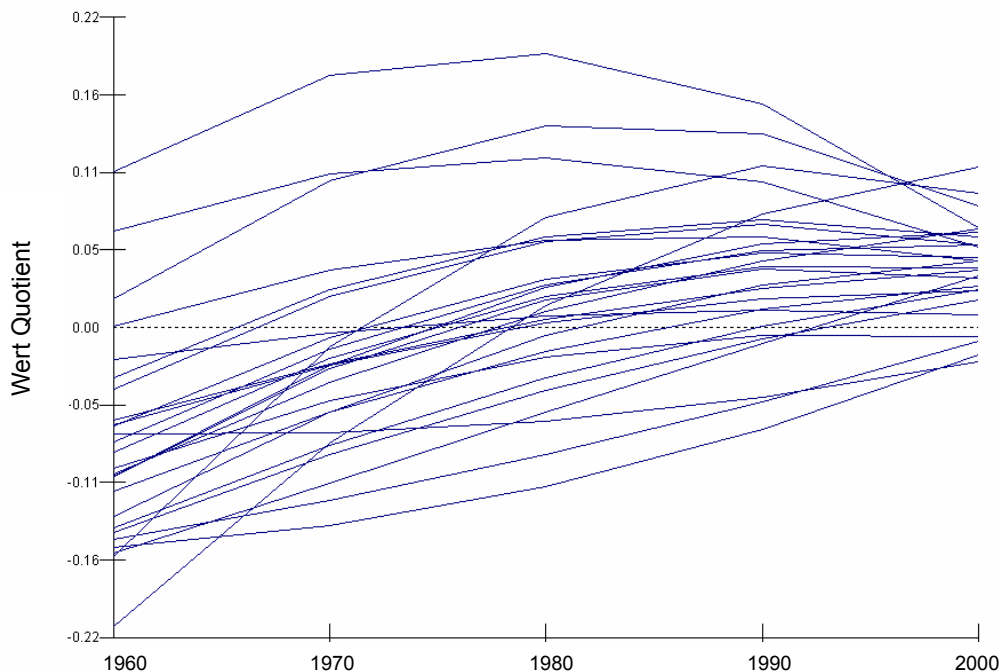
Predictor	Koeffizient	Standard Error
β_{0ij}	-0.083	0.016
β_{1ij}	0.069	0.010
β_{2ij}	-0.009	0.002

Random part

Abweichung (Varianz) zweite Ebene (Kanton)		
u_{0j}	0.006	0.002
u_{1j}	0.002	0.001
u_{2j}	0.000	0.000
Abweichung (Varianz) erste Ebene (Zeit)		
e_{0ij}	0.028	0.000
Loglikelihood	-10362.390	

Die Verlaufslinien werden in Abbildung 11 wiedergegeben. Auf der x -Achse finden sich die Zeitpunkte, auf der y -Achse die Steigung, wobei der Nullpunkt das Mittel über die ganze Schweiz angibt. Bei der Betrachtung der einzelnen Kantone (Abbildung 11), können die Kantone grob in drei verschiedene Entwicklungstypen unterteilt werden: Erstens gibt es einige wenige Kantone, deren Quotient erst ansteigt, um später wieder abzunehmen, zweitens ist bei der Mehrheit der Kantone die Steigung der Verlaufslinie des positiv, tendiert aber gegen die Gegenwart hin gegen Null. Drittens gibt es vereinzelte Kantone, deren Verlaufsliniensteigung stetig zunimmt, deren Quotienten sich von Jahrzehnt zu Jahrzehnt vergrössern. Wie auch beim linearen Modell in Abbildung 9 gleicht sich der Wert des Quotienten der verschiedenen Kantone über die Zeit an.

Abbildung 11 Die Auswirkung der Zeit auf die Erreichbarkeits-/Bevölkerungsquotienten (relative Werte, nichtlinear)



Der Einfluss der Erreichbarkeitsentwicklung ÖV (relativ) verschiedener Jahrzehnte auf die Bevölkerungsentwicklung (relativ) – globales Modell, aber mit nach Kanton abweichendem Intercept

5.3.2 Erreichbarkeit verschiedener Jahrzehnten als erklärende Variablen

Eine andere Möglichkeit, die Zeit in die hierarchischen Modelle einfließen zu lassen sind Modelle, welche den Beitrag der Entwicklung der Raumstruktur der verschiedenen Jahrzehnte als unabhängige Variablen innehaben. Die unabhängige Variable ist dabei die Bevölkerungsentwicklung über den ganzen Untersuchungszeitraum, also analog zu den globalen Modellen (z. B. in Tabelle 9). In einem ersten Modell wird der Einfluss der Erreichbarkeitsentwicklung ÖV (relativ) jeder Dekade zwischen 1950 und dem Jahr 2000 auf die Bevölkerungsentwicklung (relativ) über den gesamten Untersuchungszeitraum geschätzt (siehe Tabelle 14). Jetzt sind die Daten für die abhängige Variable allerdings „zentriert“, stehen also relativ zum mittleren Wachstum über die ganze Schweiz, externe Effekte sind somit eliminiert

(vgl. 4.2). Es wird ein Modell geschätzt, in welchem der Intercept divergiert, der Slope dagegen fixiert ist.

Tabelle 14 Auswirkung der Erreichbarkeitsentwicklung ÖV verschiedener Jahrzehnte auf die Bevölkerungsentwicklung (divergierender Intercept, fixer Slope)

$$\Delta \text{bev}5000 = \beta_{0ij} \text{ cons} + \beta_{1j} \text{ rdobev}56_{ij} + \beta_{2j} \text{ rdobev}67_{ij} + \beta_{3j} \text{ rdobev}78_{ij} + \beta_{4j} \text{ rdobev}89_{ij} + \beta_{5j} \text{ rdobev}90_{ij}$$

Fixed part

Predictor	Koeffizient	Standard Error
β_{0ij}	-536.620	20.971
β_{1ij}	0.453	0.038
β_{2ij}	1.986	0.057
β_{3ij}	1.885	0.077
β_{4ij}	1.170	0.072
β_{5ij}	0.869	0.080

Random part

Abweichung (Varianz) zweite Ebene (Kanton)		
u_{0j}	3753.345	1270.267
Abweichung (Varianz) erste Ebene (Gemeinde)		
e_{0ij}	6052.216	159.879
Loglikelihood	33378.070	

Analog zum globalen Modell in Tabelle 9 nehmen die Werte der Koeffizienten zuerst zu, um danach gegen die Gegenwart hin, langsam abzufallen. Allerdings zeigt dieses Modell mit den zentrierten Daten diesen Verlauf deutlicher. Wie im globalen Modell nimmt die Signifikanz, wenn auch immer noch auf einem hohen Niveau, über die Zeit ab. Tabelle 15 zeigt dieselbe Modellanlage, wobei nun auch der Slope divergiert. Wegen der höheren Komplexität des Modells sind hier nur noch drei unabhängige Variablen einbezogen. Die Koeffizienten der verschiedenen Jahrzehnte zeigen den gleichen Verlauf wie in den oben beschriebenen Modellen. Sie sind allesamt signifikant. Bei der Analyse des Random Part (Abweichung zweite Ebene (Kanton)) fällt auf, dass sich die verschiedenen Kantone zwar voneinander unterscheiden, sich die Signifikanz aber stark abschwächt und in der Gegenwart nur noch sehr schwach ist.

Tabelle 15 Auswirkungen der Erreichbarkeit ÖV verschiedener Jahrzehnte auf die Bevölkerungsentwicklung (divergierender Slope und Intercept)

$$\Delta \text{ bev5000} = \beta_{0ij} \text{ cons} + \beta_{1ij} \text{ rdobbev56}_j + \beta_{2j} \text{ rdobbev78}_j + \beta_{3j} \text{ rdobbev90}_j$$

Fixed part

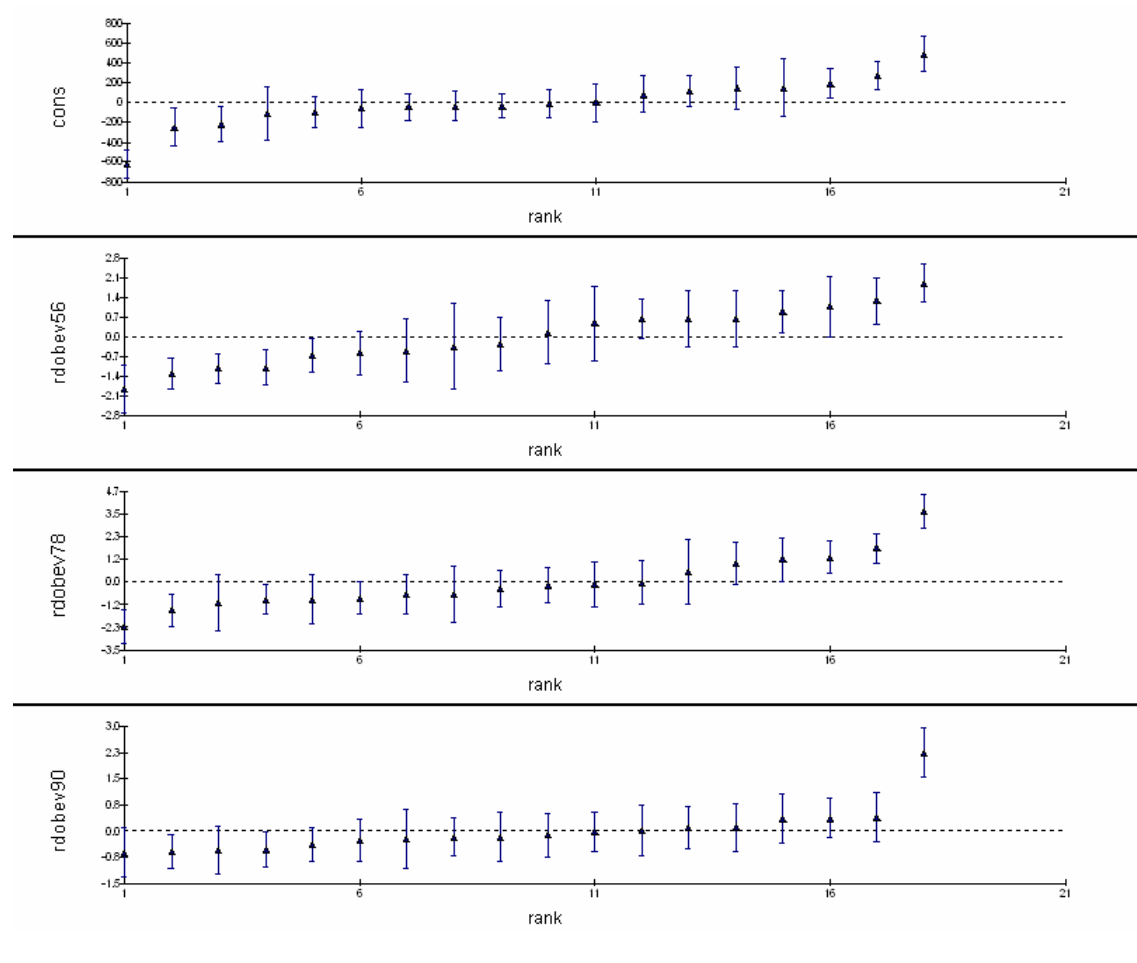
Predictor	Koeffizient	Standard Error
β_{0ij}	-354.014	58.966
β_{1ij}	1.493	0.270
β_{2ij}	2.213	0.350
β_{3ij}	1.128	0.197

Random part

Abweichung (Varianz) zweite Ebene (Kanton)		
u_{0j}	54564.000	20318.030
u_{0j}	1.094	0.430
u_{0j}	1.944	0.731
u_{0j}	0.479	0.233
Abweichung (Varianz) erste Ebene (Gemeinde)		
e_{0ij}	7226.754	192.508
Loglikelihood	33969.740	

Abbildung 12 unterstützt die Modellschätzung in Tabelle 15 graphisch, sie gibt die Abweichung der Koeffizienten von den gesamtschweizerischen Mittelwerten an. Abweichungen sind bei Koeffizienten aller unabhängigen Variablen vorhanden, doch findet, wie ja auch weiter oben schon gezeigt, gegen die Gegenwart hin eine Angleichung statt. Während sich in der Dekade 1950 bis 1960 noch je vier Kantone signifikant unter, respektive über diesem befinden, ist es in der Dekade zwischen 1990 und dem Jahr 2000 nur noch je ein Kanton.

Abbildung 12 Auswirkungen der Erreichbarkeit verschiedener Jahrzehnte auf die Bevölkerungsentwicklung (divergierender Slope und Intercept)



Dieselben Modelle auf die Bevölkerungsentwicklung (relativ) werden nun für den Einfluss der Erreichbarkeit IV (relativ) geschätzt, wiederum zuerst mit fixen Slopes, aber mit nach Kantonen abweichenden Intercepts (siehe Tabelle 16). Im Gegensatz zum ÖV Modell steigen die Werte der Koeffizienten nicht an, sondern sinken praktisch kontinuierlich. Die Koeffizienten sind signifikant, wobei sich die Signifikanz stetig sinkt, β_{5ij} ist mit einem t Wert von 2.1 kaum mehr signifikant.

Tabelle 16 Auswirkung der Erreichbarkeitsentwicklung IV verschiedener Jahrzehnte auf die Bevölkerungsentwicklung (divergierender Intercept, fixer Slope)

$$\Delta \text{ bev5000} = \beta_{0ij} \text{ cons} + \beta_{1j} \text{ rdibev56}_{ij} + \beta_{2j} \text{ rdibev67}_{ij} + \beta_{3j} \text{ rdibev78}_{ij} + \beta_{4j} \text{ rdibev89}_{ij} + \beta_{5j} \text{ rdibev90}_{ij}$$

Fixed part

Predictor	Koeffizient	Standard Error
β_{0ij}	-396.103	0.220
β_{1ij}	1.310	0.152
β_{2ij}	1.240	0.075
β_{3ij}	0.695	0.137
β_{4ij}	0.847	0.154
β_{5ij}	0.460	0.220

Random part

Abweichung (Varianz) zweite Ebene (Kanton)		
u_{0j}	2743.228	931.373
Abweichung (Varianz) erste Ebene (Gemeinde)		
e_{0ij}	10325.910	273.172
Loglikelihood	34915.98	

Die Koeffizienten der verschiedenen Jahrzehnte zeigen den gleichen Verlauf wie in den Modellen oben schon beschrieben. Sie sind allesamt signifikant. Bei der Analyse des Random Part (Abweichung zweite Ebene (Kanton)) fällt auf, dass sich die verschiedenen Kantone zwar voneinander unterscheiden, sich die Signifikanz aber stark abschwächt und in der Gegenwart nur noch schwach ist.

Tabelle 17 Auswirkungen der Erreichbarkeit IV verschiedener Jahrzehnte auf die Bevölkerungsentwicklung (divergierender Slope und Intercept)

$$\Delta \text{ bev5000} = \beta_{0ij} \text{ cons} + \beta_{1j} \text{ rdibev56}_{ij} + \beta_{2j} \text{ rdibev78}_{ij} + \beta_{3j} \text{ rdibev90}_{ij}$$

Fixed part

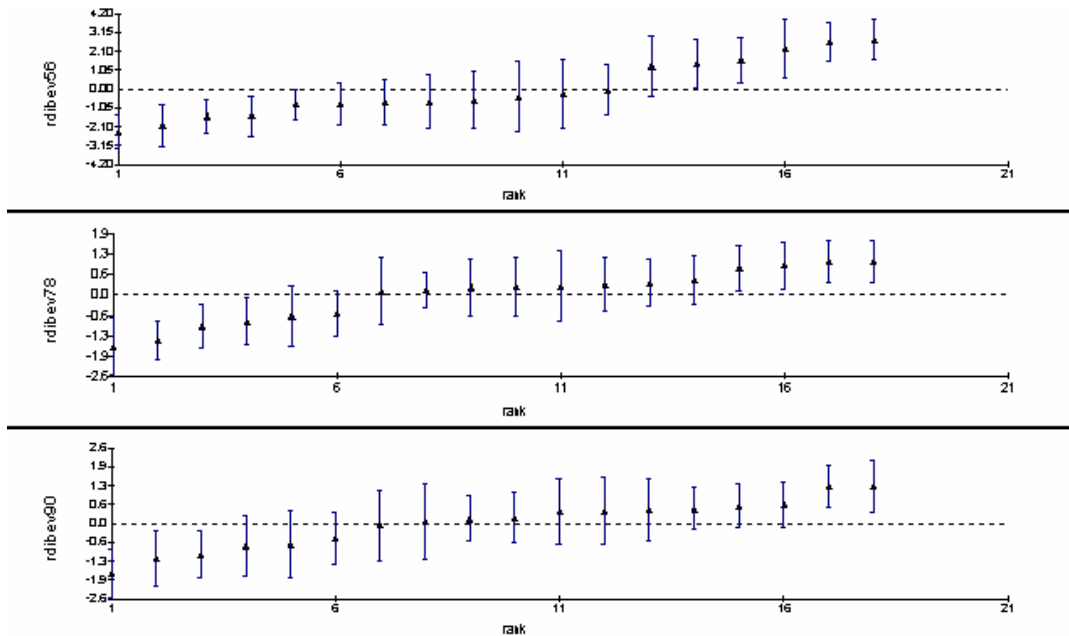
Predictor	Koeffizient	Standard Error
β_{0ij}	-440.507	37.799
β_{1ij}	2.787	0.377
β_{2ij}	1.430	0.238
β_{3ij}	0.938	0.302

Random part

Abweichung (Varianz) zweite Ebene (Kanton)		
u_{0j}	0.000	0.000
u_{0j}	1.721	0.115
u_{0j}	0.574	0.155
u_{0j}	0.547	0.133
Abweichung (Varianz) erste Ebene (Gemeinde)		
e_{0ij}	10738.100	193.476
Loglikelihood	35096.580	

Abbildung 13 unterstützt die Modellschätzung in Tabelle 15 graphisch, sie gibt analog zum ÖV Modell die Abweichung der Koeffizienten von den gesamtschweizerischen Mittelwerten an. Statistisch signifikante Abweichungen sind bei Koeffizienten aller unabhängigen Variablen vorhanden, doch findet, wie ja auch beim ÖV Modell gezeigt, gegen die Gegenwart hin eine Angleichung statt. Während sich in der Dekade 1950 bis 1960 noch je fünf Kantone signifikant unter, respektive über diesem befinden, ist es in der Dekade zwischen 1990 und dem Jahr 2000 nur noch 3 Kantone unter und zwei Kantone über dem Mittelwert.

Abbildung 13 Auswirkungen der Erreichbarkeit verschiedener Jahrzehnte auf die Bevölkerungsentwicklung (divergierender Slope, fixer Intercept)



Werden die ÖV und IV Modelle miteinander verglichen, so zeigt sich eine konstant höhere Signifikanz bei den ÖV Modellen. Die Werte der Koeffizienten sind mit jenen der globalen Modelle in Kapitel 4 vergleichbar. Die Resultate dieser Art von Multilevel Modellen stimmen gut mit den Resultaten der globalen Modellschätzungen in Kapitel 4 überein und sind auch im Vergleich mit den Repeated Measures Modellen plausibel.

In Anhang A1 ist der Vollständigkeit halber ein hierarchisches Modell, bei welchem der Intercept variiert, abgebildet, hier sind sowohl die Variablen von IV und ÖV in die Modellierung einbezogen.

5.3.3 Dreiebenenmodelle

Das hier beschriebene Multilevel Modell ist vom Aufbau her anders als die vorangegangenen aufgebaut. Jetzt sind drei Hierarchien in das Multilevel Modell eingegliedert, dabei repräsentiert die erste Ebene wiederum die Gemeinden welche in die verschiedenen Kantone und weiter, auf der dritten Ebene, in verschiedene Zeitabschnitte eingebettet sind; die dritte Ebene steht also für eine zeitliche Gliederung der Grundgesamtheit. Die Daten jeder einzelnen Gemeinde werden also zu der geographischen Einteilung in die verschiedenen Kantone, zusätz-

lich zeitlich, nach Jahrzehnte eingebettet. Die abhängige Variable in diesem Modell ist die relative Bevölkerungsentwicklung, unabhängige Variablen die in den vorangegangenen Modellen bereits eingesetzten Variablen der Erreichbarkeit total für ÖV und IV, sowie für Arbeitsplätze des zweiten und dritten Sektors. Bei allen ins Modell einbezogenen Gemeinden des Untersuchungsraumes Schweiz wurde daher je fünfmal (für jedes Jahrzehnt) die Erreichbarkeitsentwicklung der Bevölkerungsentwicklung einer Dekade gegenübergestellt. Auf diese Weise zeigt dieses Modell inwieweit die Zusammenhänge der Variablen der verschiedenen Jahrzehnte voneinander abweichen und ob diese Abweichungen signifikant sind.

In diesem Modell wurden die Daten mittels der unten angegebenen Formel standardisiert (Wooldridge, 2003).

$$x_{st} = \frac{x_i - x_m}{\sigma}$$

x_{st} standardisierte Variable

x_i Ausprägung i der Variable x

x_m Mittelwerte der Variable x

σ Standardabweichung

Diese Vorgehensweise ermöglicht, skalenbedingte Einflüsse auszuschalten und damit komplexere Modelle mit mehreren Hierarchien und einer grösseren Anzahl von erklärenden Variablen zu schätzen. Sie ermöglicht auch kompliziertere Dreiebenenmodelle robust zu schätzen.

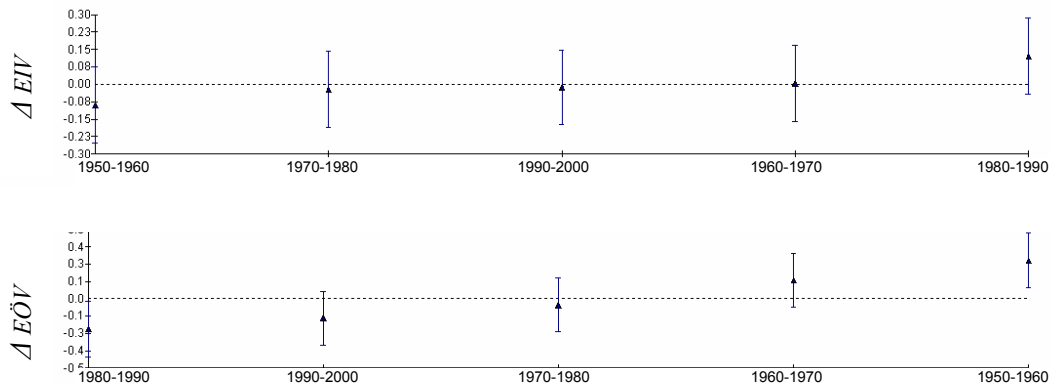
Der fixed part des Modelles (Tabelle 18) zeigt, kaum überraschend, dass der Koeffizient β_{1ij} positiv und signifikant ist, die Erreichbarkeitsentwicklung beeinflusst die Bevölkerungsentwicklung positiv. β_{0ij} ist ebenfalls positiv aber nicht signifikant. Beim Random part ist die Varianz des Intercepts auf dem Niveau des ersten Ebene gut viermal so gross wie für Ebenen 2 und 3. Signifikant ist sie allerdings nur für die Ebenen 1 und 2. Aufgrund des tiefen Wertes für β_{1ij} können zu den Varianzen der Slopes keine Aussagen gemacht werden.

Tabelle 18 Auswirkungen der Erreichbarkeit total von ÖV und IV auf die Bevölkerungsentwicklung im Dreiebenenmodell (divergierender Slope und Intercept)

$$\Delta \text{ bev5000} = \beta_{0ijk} \text{ cons} + \beta_{1ijk} \Delta \text{ itot50}_{ijk} + \beta_{2ijk} \Delta \text{ otot50}_{ijk}$$

Fixed part		
Predictor	Koeffizient	Standard Error
β_{0ijk}	0.094	0.024
β_{1ijk}	0.549	0.070
β_{2ijk}	0.497	0.089
Random part		
Abweichung (Varianz) erste Ebene (Jahrzehnt)		
v_{0k}	0.000	0.000
v_{1k}	0.011	0.016
v_{2k}	0.036	0.025
Abweichung (Varianz) zweite Ebene (Kanton)		
u_{0jk}	0.043	0.008
u_{1jk}	0.159	0.036
u_{2jk}	0.039	0.011
Abweichung (Varianz) dritte Ebene (Gemeinde)		
e_{0ijk}	0.568	0.009
e_{1ijk}	0.525	0.042
e_{2ijk}	0.172	0.016
Loglikelihood	36582.98	

Abbildung 14 Auswirkungen der Erreichbarkeit total auf die Bevölkerungsentwicklung im Dreiebenenmodell – Abweichungen auf der Ebene 3 (divergierender Slope und Intercept)



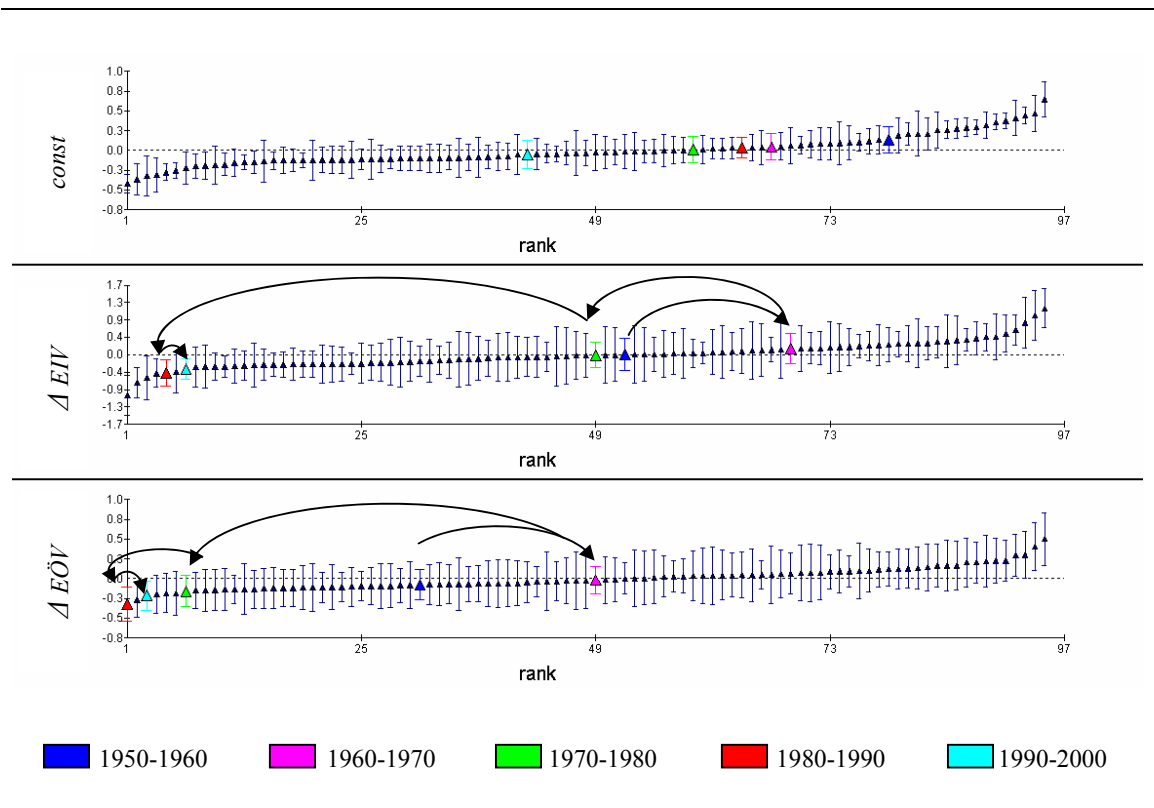
Für das Modell zur Erklärung der Bevölkerungsentwicklung kann für den ÖV Parameter eine konstante Abnahme des Slopes über die Zeit zur Gegenwart hin konstatiert werden. Etwas anders verhält es sich bei einem Modell, welches die Entwicklung der Arbeitsplätze des 3. Sektors erklären soll (hier nicht abgebildet). Hier zeigt sich, dass die Arbeitsplatzentwicklung des 3. Sektors in den Jahrzehnten der Hochkonjunktur zwischen 1960 und 1980 der Erreichbarkeitsentwicklung gefolgt sind, in jener Zeitspanne, in der die Transformation von Arbeitsplätzen in der Industrie in die Dienstleistungen besonders stark war (vgl. z. B. Rieder und Anwander, 1994). Vor und nachher ist die Entwicklung deutlich weniger stark von der Erreichbarkeit abhängig.

Wird der Fokus von der dritten auf die zweite Ebene gelegt, ermöglicht dies die Beobachtung der einzelnen Kantone über die Zeit. Wie eingangs Kapitel erwähnt, erscheint, bedingt durch die Auslegung dieses Dreiebenenmodells, die Abweichung der Parameter jedes Kantons auf der zweiten Ebene (und jede Gemeinde auf der ersten Ebene) entsprechend den einbezogenen Jahrzehnten jeweils fünf mal, was zeigen kann, ob und inwiefern eine Systematik der Parameterabweichung jedes Kantons vorhanden ist.

Abbildung 15 zeigt hervorgehoben die Parameterabweichungen für die Variablen ÖV und IV (immer noch desselben Modells aus Tabelle 18) für den urbanen, dicht besiedelten Kanton Zürich. Befindet sich der IV Parameter in der Zeitspanne 1950-1960 in der oberen Hälfte und steigt bis 1970 gar noch an, so sinkt dieser über die Zeit kontinuierlich um sich dann ab den 80er Jahren auf signifikant tiefem Niveau zu stabilisieren. Der Einfluss dieser Variablen wird

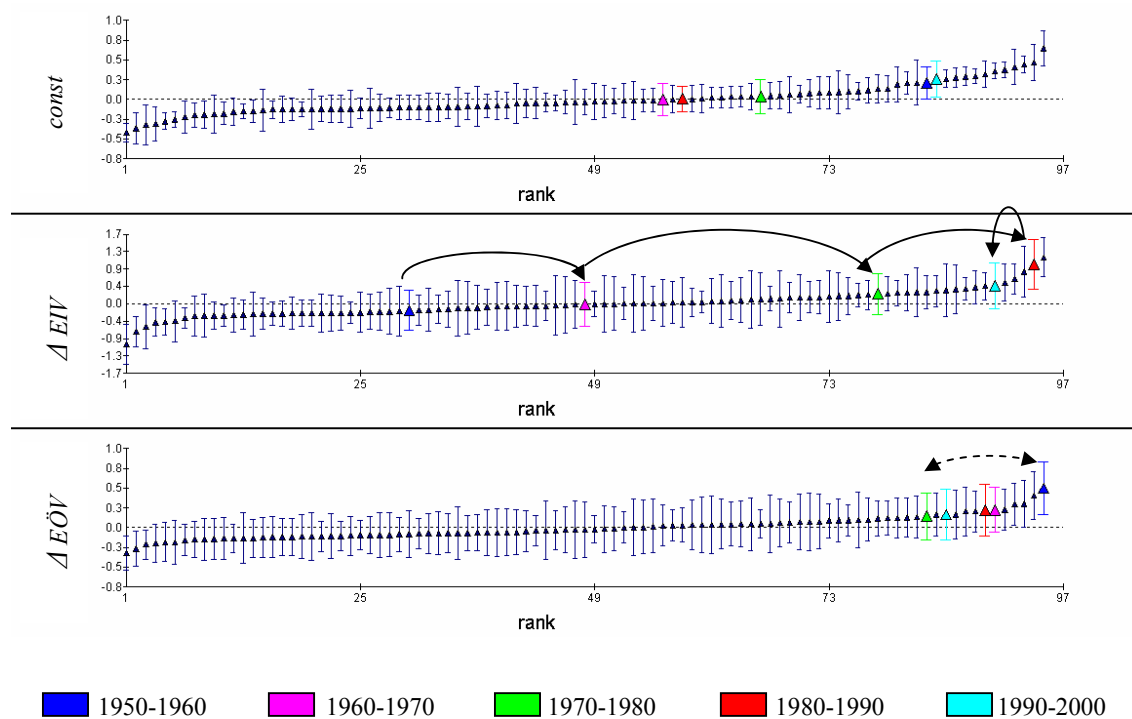
für den Kanton Zürich über die Jahrzehnte kontinuierlich kleiner. Dieselbe Entwicklung, allerdings etwas weniger ausgeprägt zeigt auch der ÖV Parameter für ebendiesen Kanton. Interessant ist die Richtungsänderung für ÖV und IV in den 90er Jahren.

Abbildung 15 Auswirkungen der Erreichbarkeit total auf die Bevölkerungsentwicklung im Dreiebenenmodell – Abweichungen auf der Ebene 2 – Fokus Kanton ZH



Als Vergleich wird nun Graubünden, ein ruraler und alpiner Kanton mit peripherer Besiedlung betrachtet (Abbildung 16). Nun zeigt sich ein ganz anderes Bild. Anfänglich befindet sich die Abweichung für den IV Parameter im untersten Viertel, um dann kontinuierlich gegen die Gegenwart hin anzusteigen und sich dann im signifikant überdurchschnittlichen Teil einzupendeln. Die ÖV Parameterabweichung ist über die ganze Untersuchungsspanne immer im obersten Teil zu finden ohne jedoch einen Trend zu folgen. Die Entwicklung der Raumstruktur ist in diesem Kanton also stark von Erreichbarkeitsverbesserungen abhängig, wobei sich dieser Zusammenhang gegen die Gegenwart hin gar noch akzentuiert.

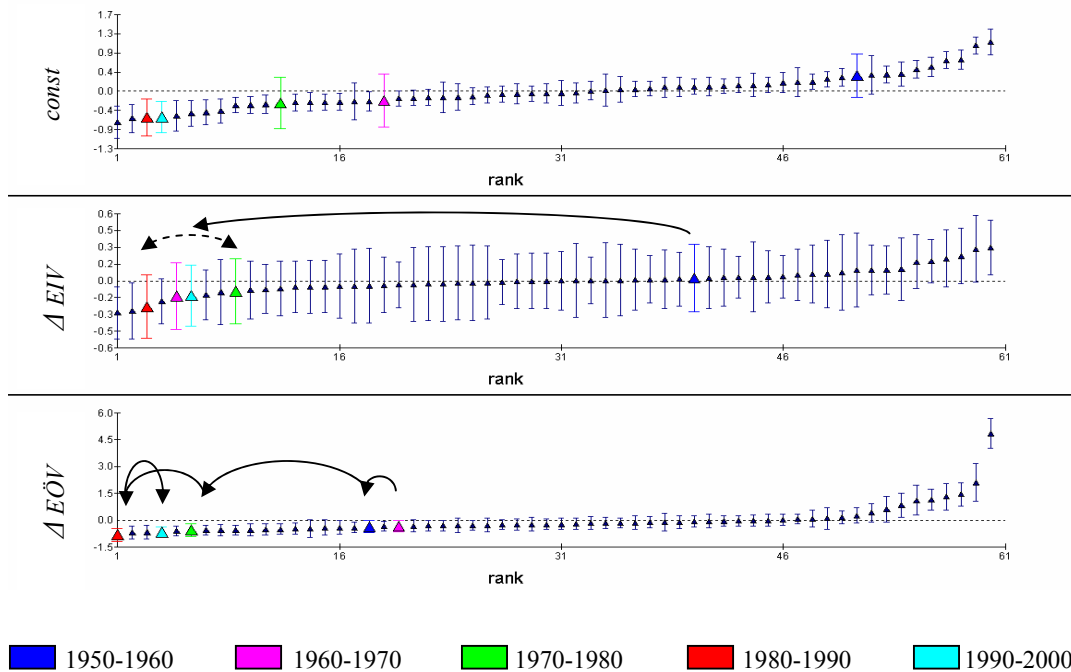
Abbildung 16 Auswirkungen der Erreichbarkeit total auf die Bevölkerungsentwicklung im Dreiebenenmodell – Abweichungen auf der Ebene 2 – Fokus Kanton GR



Statt nun die Hierarchien so zu wählen, dass die Einteilung in die obere Ebene einer geographischen Allokation folgt, können die Gemeinden ebenso gemäss der besprochenen ARE Typisierung in Gemeindetypen gebettet werden, was eine Aussage über eventuell unterschiedliche Auswirkungen je nach Gemeindetyp ermöglicht.

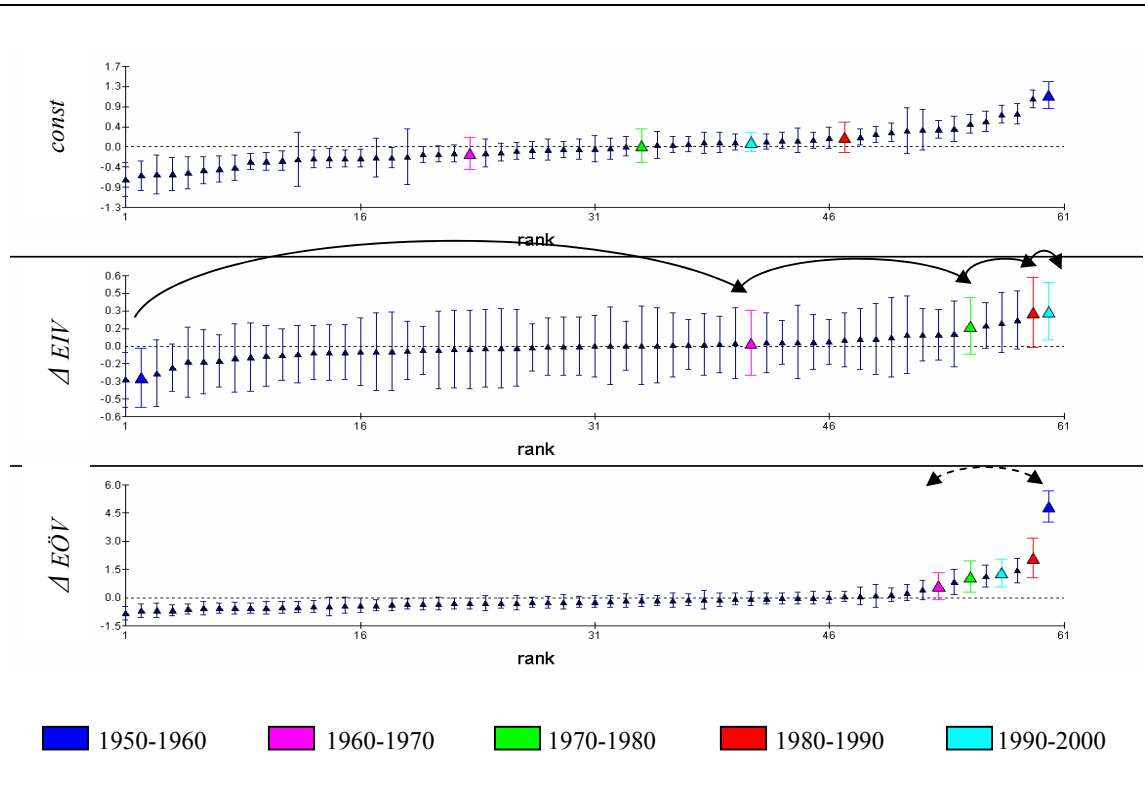
Statt eines Kantons wird nun ein Gemeindetyp genauer untersucht. Zuerst werden die urbanen Zentren und deren Nebenzentren (ARE Gemeindetypen 1 + 2) verfolgt (Abbildung 17). Dabei zeigt sich, dass sich diese Gemeinden genau wie diejenigen des Kantons Zürich verhalten, dies für die Abweichungen der Parameter IV und ÖV.

Abbildung 17 Auswirkungen der Erreichbarkeit total auf die Bevölkerungsentwicklung im Dreiebenenmodell – Abweichungen auf der Ebene 2 – Fokus urbane Gemeinden



Dieser Gemeindetyp wird wiederum mit einem ruralen (agrarische Gemeinden, ARE Typisierung 12) verglichen (Abbildung 18). Deren Parameterabweichungen zeigen nun ein Bild ähnlich demjenigen des Kantons Graubünden: für den IV zeigt sich eine Akzentuierung des Zusammenhanges, währenddem die ÖV Parameterabweichungen über alle Jahrzehnte auf hohem Niveau, wenn auch ohne Trend verharren.

Abbildung 18 Auswirkungen der Erreichbarkeit total auf die Bevölkerungsentwicklung im Dreiebenenmodell – Abweichungen auf der Ebene 2 – Fokus rurale Gemeinden



5.4 Zusammenfassung

Die in Kapitel 4 erarbeiteten Resultate konnten mit den in diesem Kapitel verwendeten Methoden bestätigt werden. Insbesondere die Entwicklung der Stärke des Wirkungszusammenhanges zwischen Erreichbarkeit und raumstruktureller Entwicklung unterscheidet sich je nach Gemeindetyp, respektive je nach Region allerdings stark.

Die hierarchischen Modelle, welche v. a. in der Sozialforschung angewendet werden und dort das Individuum als unterste Analyseeinheit beinhalten, bewähren sich zur Erforschung geographischer Fragestellungen. Diese Art von Modellen ist in der Lage lokale Besonderheiten zu eruieren. Bei der Erweiterung um eine zeitliche Komponente hat sich insbesondere das Dreiebenenmodell bewährt.

6 Schlussfolgerungen

In den beiden vorangehenden Kapitel wurden die strukturellen Entwicklungen und die Erreichbarkeiten für die ganze Schweiz analysiert und deren Zusammenhänge geschätzt. Dieses Kapitel stellt nun eine Synthese zum Zusammenhang zwischen dem Ausbau der Verkehrsinfrastruktur über die letzten fünf Dekaden und der raumstruktureller Entwicklung her, die Resultate werden auf analytischer und methodischer Ebene kommentiert und Empfehlungen für die weiteren Arbeiten präsentiert.

6.1 Schlussfolgerungen analytische Ebene

Wie in der Einleitung besprochen, gehen die Modellannahmen in diesem Forschungsprojekt bis jetzt davon aus, dass die Beziehung zwischen Erreichbarkeit und Raumstruktur explizite einseitig ist (also keine Beziehung in die gegenteilige Richtung, also der Auswirkung der Raumentwicklung auf den Strassennetzausbau).

Diese einseitigen Auswirkungen konnten in Kapitel 4 mit den globalen OLS Modellen nachgewiesen werden. Erreichbarkeit ist neben anderen Raum prägenden Variablen eine signifikante Variable, um die abhängigen Variablen Bevölkerungs- und Arbeitsplatzentwicklung zu erklären. Die globalen Modelle in Kapitel 4 besagen, dass sowohl die Erreichbarkeit ÖV, wie auch IV, neben anderen Variablen sich signifikant positiv auf die Raumstruktur, welche hier über die Bevölkerungs- und Arbeitsplatzentwicklung operationalisiert wurde, auswirkt. Dieser positive Zusammenhang bleibt über die Jahrzehnte bestehen, nimmt aber kontinuierlich ab. Erreichbarkeitsentwicklung beeinflusst die Raumstruktur positiv. Dies zeigen die geschätzten globalen OLS Modelle sowohl für die ÖV-, wie auch für die IV Erreichbarkeit.

Die im Kapitel 4 gewonnen Resultate ermutigten, auf diese Wirkungszusammenhänge im Detail einzugehen (Kapitel 5). Dazu wurden die globalen Modelle aus dem ersten Teil um eine hierarchische Komponente (zuerst mit einfachen Zweibenmodellen, dann mit Repeated Measures Modellen und mit Dreiebenen-Wachstumsmodellen) erweitert. Mittels diesen hierarchischen Regressionen wurden unterschiedlichen Auswirkungen von Erreichbarkeitsveränderungen auf die Raumstruktur festgestellt. Auch bei diesen Modellen, welche ganz anders aufgebaut sind, nimmt dabei die Auswirkung der Einflüsse über die Zeit ab. Die Analyse zeigt weiter, dass die Variationen über den Raum, was die Stärke der Zusammenhänge betrifft, gross sind. Sowohl bei Kantonen (geographische Einteilung der Schweiz) wie auch bei den ARE Gemeindetypen (Einteilung der Schweiz nach Gemeindetypen) reagieren die peripheren und alpinen Regionen stark auf Erreichbarkeitsentwicklungen. Agglomerationen und

agglomerationsnahe Regionen des schweizerischen Mittellandes zeigen deutlich geringere Zusammenhänge. Die hierarchischen Modelle (v. a. die Dreiebenenmodelle) zeigen auch, dass sich die Abweichungen der Koeffizienten der unabhängigen Variablen der einzelnen Kantone über die Zeit stark veränderten, während die Abweichung in urbanen Gebieten kontinuierlich negativ wurde, hat sich sie sich in ruralen, peripheren Gebieten gegenüber dem Mittelwert über die Zeit erhöht.

Die stetige Abnahme der Wirkungszusammenhänge hin zur Gegenwart über die ganze Schweiz einerseits und die tendenzielle Reduktion der Signifikanz über den Untersuchungszeitraum rücken die Frage nach der Richtung der Wirkungszusammenhänge allerdings wieder in den Vordergrund.

6.2 Schlussfolgerung methodische Ebene

Räumliche Aufteilung: Wie in Kapitel 5.2 besprochen, wurden für die hierarchischen Modelle die Kantone für die zweite Ebene gewählt. Dieses Vorgehen gewährleistet eine genügend grosse Anzahl Einheiten auf der ersten Ebene (Gemeinden) um statistisch vernünftig grosse Stichprobe zu erhalten. Dafür ist die räumliche Kammerung recht grob. Es müsste in der Folge getestet werden, ob nicht mindestens in Regionen mit kleinflächigen Gemeinden, räumlich kleinere Einheiten, wie Bezirke oder Regionalplanungsregionen, als Einheiten der zweiten Ebene in die Schätzungen einbezogen werden sollten, wobei dann die Diskussion um die richtige räumliche Aufteilung und der räumlich diskontinuierlichen Prozesse wieder relevant wird (siehe Kapitel 5).

Modell: Hierarchische Regressionsmodelle sind in der Lage, räumliche Differenzierungen vorzunehmen, welche in den globalen OLS Modellen in Kapitel 4 verborgen bleiben. Auch können sie Entwicklungen über Raum und Zeit gleichzeitig nachzeichnen. Dies geht reibungslos, solange nur für den Intercept sowohl einen fixed, also auch einen random part berechnet wird. Wenn dagegen für Intercept und Slope einen fixed und einen random part errechnet werden soll, zeigte sich die benutzte Software MLwiN 2.2 bei der Modellanwendung mit einer zu grossen Anzahl Variablen oft instabil. Ferner muss der Modellgüte noch genauer Aufmerksamkeit geschenkt werden. Die Daten müssen auf Heteroskedastizität (liegt vor, wenn die Residuen nicht unabhängig von den Werten der abhängigen bzw. der unabhängigen Variablen sind) und Multikollinearität (liegt vor, wenn entweder eine exakte lineare Abhängigkeit zwischen den unabhängigen Variablen besteht oder aber ein starker linearer Zusammenhang festgestellt werden kann), geprüft werden.

Wirkungszusammenhang: Wie bereits in der Einleitung erwähnt, ist die vorliegende Untersuchung den Auswirkungen der Strassennetzausbauten auf die raumwirtschaftliche Entwicklung gewidmet. Bis jetzt wurde von einer Richtung Verkehrsinfrastruktur auf Raum ausgegangen. Dies muss verifiziert werden. Will man aus den Ergebnissen dieser Untersuchung regionalpolitische Schlüsse ziehen, so muss man aber auch das Gegenteilige beachten, das heisst man muss berücksichtigen, in welcher Weiser die raumwirtschaftliche Entwicklung auf den Strassennetzausbau zurückwirkt. Diesen Rückkoppelungen muss in der Folge gebührend Beachtung geschenkt werden. Es drängt sich die Frage auf, ob die Annahme, das implizit ein einseitiger Wirkungszusammenhang zwischen Verkehr und Raum zu allen Zeitpunkten zulässig ist, oder ob nicht viel mehr die Auswirkung in die gegenteilige Richtung, nämlich vom Verkehr auf den Raum nicht ebenso relevant wäre.

Abbildung 15 Funktionsweise Granger-Test

$$VMT_t = \sum_{i=1}^n \alpha_i LM_{t-i} + \sum_{j=1}^n \beta_j VMT_{t-j} + u_{1t}$$

$$LM_t = \sum_{i=1}^n \lambda_i LM_{t-i} + \sum_{j=1}^n \delta_j VMT_{t-j} + u_{2t}$$

Dabei können 4 Fälle unterschieden werden:

- | | |
|--|---|
| 1) unidirectional causality LM \implies VMT, | $\sum \alpha_i \neq 0$ and $\sum \delta_j = 0$ |
| 2) unidirectional causality VMT \implies LM, | $\sum \alpha_i = 0$ and $\sum \delta_j \neq 0$ |
| 3) bilateral causality VMT \iff LM, | $\sum \alpha_i \neq 0$ and $\sum \delta_j \neq 0$ |
| 4) independence | $\sum \alpha_i = 0$ and $\sum \delta_j = 0$ |

VMT: z. B. Bevölkerungsentwicklung

LM: z. B. Erreichbarkeitsentwicklung

Mit dem Granger-Kausalitätstests (Granger, 1969), können Zusammenhänge zwischen Ursache und Wirkung formell getestet werden; Der Granger-Test ist ein übliches Verfahren zur Identifizierung von Ursache - Wirkungs - Zusammenhängen mittels einer quantitativen Methode. Der Ansatz geht dabei von der Annahme aus, dass die Ursache für eine Entwicklung zeitlich vor der Entwicklung eintreten muss. Der Test definiert daher, dass eine Variable x dann kausal für eine Variable y ist, wenn die Prognose für y durch vergangene Werte von x beeinflusst und verbessert wird, während die Prognose für x nicht von vergangenen Werten von y tangiert wird bzw. die Prognose sich verschlechtert (siehe Abbildung 15).

Potential: Die Entwicklung der Verkehrsinfrastruktur wurde in diesem Forschungsprojekt mit der Potentialveränderung operationalisiert. Verändert sich das Potential, so kann die Ursache dafür die veränderte Reisezeit c_{ij} oder aber die veränderte Anzahl Arbeitsplätze /Einwohner A_j in der Gemeinde j sein (vgl. Definition Erreichbarkeit in Kapitel 2). Es drängt sich für die weitere Analyse daher eine Zerlegung der Potentialveränderungen in eine netzbedingte Veränderung (Netzteil) und eine demographisch-wirtschaftsstrukturell bedingte Veränderung (Wirtschaftsteil) auf. Diese Zerlegung geschieht am besten dadurch, dass man – etwa in Anlehnung an die Shift-Analyse – den Netz- vom Wirtschaftsteil durch eine geeignete tautologische Erweiterung isoliert (siehe Kesselring, 1982).

7 Literaturverzeichnis

- ARE (Hrsg.) (2001) Touristische Transportanlagen der Schweiz, TTA Statistik 6. Auflage, Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bern.
- Aschauer, D. (1989) Is public expenditure productive?, *Journal of Monetary Economics*, **23** (2) 177 – 200.
- Banister, D. und J. Berechman (2000) *Transport Investment and Economic Development*, UCL Press, London.
- Bender, C. und S. F. Hoffmann (2003) *Grundlagen der multiplen linearen Regression*, Seminarbeitrag, Universität St. Gallen, St. Gallen.
- Bodenmann, B. (2006) Modelle zur Standortwahl von Unternehmen, *Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung*, **336**, IVT, ETH Zürich, Zürich.
- Bosshart, F. (2001) Touristische Transportanlagen der Schweiz, 6. Auflage, Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bern.
- BRP (Hrsg.) (1996) Grundzüge der Raumordnung Schweiz, Bundesamt für Raumplanung (BRP), Eidg. Justiz- und Polizeidepartement, Bern.
- Bruinsma, F. und P. Rietveld (1993) Urban agglomerations in European infrastructure networks, *Urban Studies*, **30** (6) 919-934.
- Stab der Eidg. Kommission für die Schweizerische Gesamtverkehrskonzeption (Hrsg.) (1977) Gesamtverkehrskonzeption Schweiz (GVK-CH), Schlussbericht, Eidg. Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement, Bern.
- Elsasser, H (1998) Wirtschaftsgeographie I + II – Materialien zur Vorlesung, Geographisches Institut der Universität Zürich, Zürich.
- Fotheringham, A. S., C. Brunsdon und M. Charlton (2000) *Quantitative Geography*, The Cromwell Press Ltd, Trowbridge.
- Fröhlich, Ph. und K. W. Axhausen (2002) Development of car-based accessibility in Switzerland from 1950 through 2000: First results, *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung*, **111**, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen und Eisenbahnbau (IVT), ETH Zürich, Zürich.
- Fröhlich, Ph., T. Frey, S. Reubi und HU. Schiedt (2003) Entwicklung des Transitverkehrs-Systems und deren Auswirkung auf die Raumnutzung in der Schweiz (COST 340): Verkehrsnetz-Datenbank, *Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung*, **208**, IVT, ETH Zürich, Zürich.

- Fröhlich, Ph., M. Tschopp und K.W. Axhausen (2006) Entwicklung der Erreichbarkeit der Schweizer Gemeinden: 1950-2000, *Raumforschung und Raumordnung*, **64**,(6), 385-399.
- Geurs, K.T. und J.R. Ritsema van Eck (2001) Accessibility measures: review and applications, *RIVM report*, **408505006**, National Institute of Public Health and the Environment, Bilthoven.
- Goldstein, H. (1987) Multilevel models in educational and social research, Griffin & Co, Oxford.
- Granger, C. (1969) Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods, *Econometrica*, **37**, 424-438.
- Greene, W. H. (2000) *Econometric Analysis*, 4th Edition, Prentice-Hall, Upper Saddle River.
- Haug, W. (2002) Räumliche und strukturelle Bevölkerungsdynamik der Schweiz 1990-2000 Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.
- Holtz-Eakin, D. (1994) Public sector capital and the productivity puzzle, *Review of Economics and Statistics*, **76** (1) 12-21.
- Kesselring, H., P. Halbherr und R. Maggi (1982) *Strassennetzausbau und raumwirtschaftliche Entwicklung*, Verlag Paul Haupt, Bern.
- Jones, K. (1991) Multi-level Models for Geographical Research, *Portsmouth Polytechnic*, Portsmouth.
- Kneubühl, U. und G. Thélin (1978) Touristische Transportanlagen der Schweiz, Eidg. Justiz- und Polizeidepartement, Bern.
- Kwan, M. (1998) Space-time and integral measures of individual accessibility: A comparative analysis using a point-based framework, *Geographical Analysis*, **30** (3) 199-216.
- Lutter, H. (1980) *Raumwirksamkeit von Fernstrassen*, Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung, Bonn.
- ORL-Institut ETHZ (1971) Landesplanerische Leitbilder der Schweiz, Schlussbericht Bd I-IV, Schriftenreihe zur Orts-, Regional- und Landesplanung, Institut für Orts-, Regional- und Landesplanung an der ETH Zürich, Zürich.
- Ortuzar, J. d. D. und L. G. Willumsen (2001) *Modelling Transport*, John Wiley & Sons, Chichester.
- Rasbash, J., W. Browne, H. Goldstein, M. Yang, I. Plewis, M. Healy und G. Woodhouse (2000) *A user's guide to MLwiN*, Institute of Education, London.
- Rieder, P. und S. Anwander (1994) *Grundlagen der Agrarmarktpolitik*, vdf, Zürich.

- Rietveld, P. und F. Bruinsma (1998) *Is Transport Infrastructure Effective?*, Springer, Berlin.
- Ritzmann, H. (1996) *Historische Statistik der Schweiz*, Chronos, Zürich.
- Rotach, M. (1973) Raumplanerische Leitbilder der Schweiz CK-73, Eidg. Justiz- und Polizeidepartement, Bern.
- Scheers + Wall (2004) *Eisenbahnatlas der Schweiz*, Scheers + Wall, Eupen.
- Schilling, H. R. (1973) Kalibrierung von Widerstandsfunktionen, *Studienunterlagen*, Lehrstuhl für Verkehrsingenieurwesen, ETH Zürich, Zürich.
- Schuler, M. und D. Joye (1997) Die Raumgliederungen in der Schweiz, Bundesamt für Statistik, Bern.
- Schuler, M. und R. Nef (1983) Räumliche Typologien des schweizerischen Zentren-Peripheriemusters, *NFP Bericht „Regionalprobleme in der Schweiz“*, **35**, Bern.
- Schürmann, C., K. Spiekermann, R. und M. Wegener (1997) Accessibility indicators, *Berichte aus dem Institut für Raumplanung*, **39**, Institut für Raumplanung, Universität Dortmund, Dortmund
- Steward, J. Q. (1948) Demographic gravitation: Evidence and applications, *Sociometry*, **11** (1/2) 31-58.
- Steward, J. Q. und W. Warntz (1958) Physics of population distribution, *Journal of regional science*, **1** (1) 99-123.
- Tschopp, M., T. Frey, S. Reubi, P. Keller und K. W. Axhausen (2003) Raumnutzung in der Schweiz: Eine historische Raumstruktur-Datenbank, *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung*, **165**, IVT, ETH Zürich, Zürich.
- Tschopp, M. und K. W. Axhausen (2004) Methoden zur räumlichen Datenanalyse, *Arbeitsberichte Verkehr- und Raumplanung*, **233**, IVT, ETH Zürich, Zürich.
- Williams, H.C.W.L. (1977) On the formation of travel demand models and economic evaluation measures of user benefits, *Environment and Planning A*, **9** (2) 285-344.
- Wooldridge, J. M. (2003) *Introductory Econometrics*, Thomson Southwestern, Mason.

A 1 MIwiN 2.2 Outputs

Abbildung A2-1 Auswirkungen der Erreichbarkeit verschiedener Jahrzehnte auf die Bevölkerungsentwicklung (divergierender Slope, fixer Intercept)

$$\begin{aligned}
 & \text{rdb5000}_y \sim N(XB, \Omega) \\
 & \text{rdb5000}_y = \beta_{0y} \text{cons}_y + 0.496(0.119)\text{rdibev56}_y + 0.416(0.039)\text{rdobev56}_y + 0.281(0.062)\text{rdibev67}_y + 1.878(0.059)\text{rdobev67}_y + \\
 & \quad -0.018(0.106)\text{rdibev78}_y + 1.762(0.079)\text{rdobev78}_y + 0.384(0.118)\text{rdibev89}_y + 1.012(0.075)\text{rdobev89}_y + 0.111(0.170)\text{rdibev90}_y + \\
 & \quad 0.783(0.081)\text{rdobev90}_y \\
 & \beta_{0y} = -635.694(32.038) + \mu_{0y} + e_{0y} \\
 & [\mu_{0y}] \sim N(0, \Omega_\mu) : \Omega_\mu = [4156.195(1403.735)] \\
 & [e_{0y}] \sim N(0, \Omega_e) : \Omega_e = [5917.630(156.324)] \\
 & -2*\log\text{likelihood(IGLS Deviance)} = 33315.420(2884 \text{ of } 2890 \text{ cases in use})
 \end{aligned}$$

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

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

Eine vollständige Liste der Berichte kann vom Institut angefordert werden:

A complete catalogue of the papers can be obtained from:

IVT ETHZ
ETH Hönggerberg (HIL)
CH - 8093 Zürich

Telephon: +41 1 633 31 05

Telefax: +41 1 633 10 57

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

WWW: www.ivt.baug.ethz.ch

Der Katalog kann auch abgerufen werden von:

The catalogue can also be obtained from:

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