

# Raumstruktur und Erreichbarkeit am Beispiel der Schweiz zwischen 1950 und 2000

**Master Thesis**

**Author(s):**

Gätzi, Martin

**Publication date:**

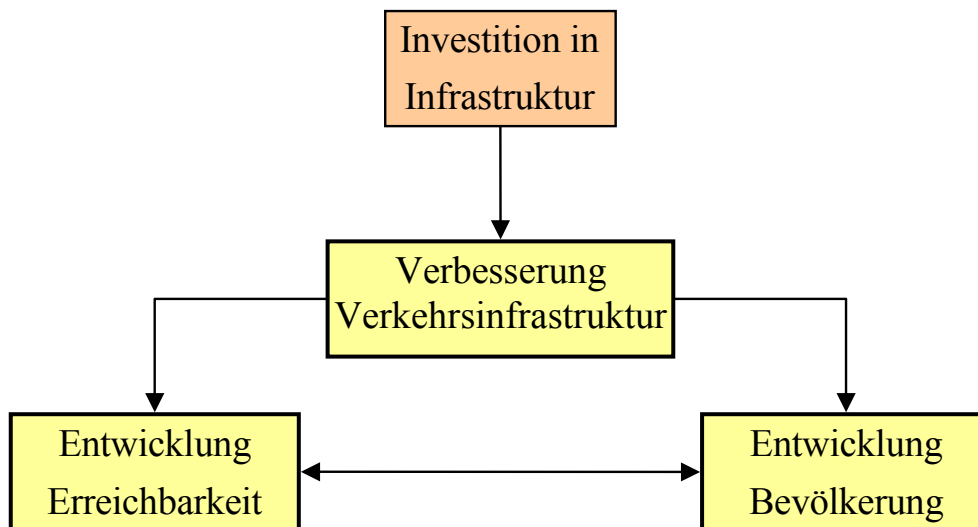
2004-02

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005226238>

**Rights / license:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)



## Raumstruktur und Erreichbarkeit am Beispiel der Schweiz zwischen 1950 und 2000

Martin Gätzi

Betreuung:

Prof. Dr. K.W. Axhausen, IVT, ETH Zürich

Martin Tschopp, IVT, ETH Zürich

Diplomarbeit ETH Zürich  
Verkehrs- und Raumplanung

Februar 2004

## **Danksagung**

Für die Unterstützung während der Durchführung meiner Diplomarbeit möchte ich mich besonders bei den folgenden Personen und Institutionen bedanken:

Herrn Professor K.W. Axhausen sowie Herrn Martin Tschopp für die Betreuung während der gesamten Diplomarbeit.

Herrn Martin Schweiz vom Bundesamt für Statistik (BFS) sowie dem Bundesamt für Verkehr (BAV) für die zur Verfügung gestellten Daten für die Zusammenstellung der Neubaukosten für National- und Kantonsstrassen.

## Inhaltsverzeichnis

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1   | Einleitung .....                                      | 1  |
| 2   | Ausgangslage .....                                    | 3  |
| 2.1 | Grundsätzliches zur Erreichbarkeit .....              | 3  |
| 2.2 | Abgrenzung des Untersuchungsgebietes Schweiz .....    | 6  |
| 2.3 | Zeitfenster 1950 – 2000 .....                         | 7  |
| 2.4 | Zentrale Fragen .....                                 | 9  |
| 3   | Grundlagen und Datenlage .....                        | 10 |
| 3.1 | Wohnbevölkerung .....                                 | 10 |
| 3.2 | Verkehrsnetz .....                                    | 12 |
| 3.3 | Verkehrsnetzausbau .....                              | 14 |
| 3.4 | Kosten für Neubau Kantons- und Nationalstrassen ..... | 15 |
| 4   | Methoden / Untersuchungen .....                       | 20 |
| 4.1 | Berechnung Erreichbarkeit .....                       | 20 |
| 4.2 | Datenanalyse .....                                    | 24 |
| 5   | Untersuchungsergebnisse .....                         | 30 |
| 5.1 | Entwicklung Bevölkerung .....                         | 30 |
| 5.2 | Entwicklung Erreichbarkeit 1950 – 2000 .....          | 34 |
| 5.3 | Wechselwirkungen .....                                | 39 |
| 5.4 | Investitionen für Erreichbarkeitsverbesserung .....   | 45 |
| 5.5 | Zeitreihenanalyse .....                               | 49 |
| 6   | Schlussfolgerungen .....                              | 57 |
| 7   | Literatur .....                                       | 59 |

## Tabellenverzeichnis

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Tabelle 1  | Internationale Agglomerationen der Schweiz (1990).....   | 6   |
| Tabelle 2  | Maximale/ minimale Wohnbevölkerung und Anzahl Gemeinde.....  | 11  |
| Tabelle 3  | Durchschnittsgeschwindigkeiten nach Strassentypen und Jahr [km/h] .....  | 13  |
| Tabelle 4  | Quellen Neubaukosten Kantons- und Nationalstrassen.....  | 15  |
| Tabelle 5  | Interne Reisezeiten (i = j).....   | 20  |
| Tabelle 6  | Variablen für Regression .....   | 29  |
| Tabelle 7  | Regressionsgeraden $a\Delta Err - r\Delta Bev$ und $a\Delta Err - r\Delta Bev$ ( $r\Delta Bev = b_0 + b_1 * a\Delta Err$ ).....  | 41  |
| Tabelle 8  | Regressionsgeraden $r\Delta Err - r\Delta Bev$ und $r\Delta Err - r\Delta Bev$ ( $r\Delta Bev = b_0 + b_1 * r\Delta Err$ ) ..... | 43  |
| Tabelle 9  | Neubaukosten pro Kilometer Nationalstrasse.....  | 46  |
| Tabelle 10 | Beschriftung .....   | 50  |
| Tabelle 11 | Beschriftung .....   | 53  |
| Tabelle 12 | Regressionskoeffizient für $\Delta EpP$ für die Gemeinden.....   | 54  |
| Tabelle 13 | Quellen Neubaukosten Kantons- und Nationalstrassen.....  | A-1 |

## Abbildungsverzeichnis

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Abbildung 1 | Beziehungen zwischen Verkehrsinfrastruktur, Erreichbarkeit und Bevölkerung ..... | A-1 |
|-------------|--|-----|

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| Abbildung 2  | Gewichtungsfunktion $f(c_{ij})$ .....                                       | 5  |
| Abbildung 3  | Entwicklung des Motorfahrzeugbestandes in der Schweiz (1950 bis 2000).....  | 7  |
| Abbildung 4  | Wohnbevölkerung in der Schweiz (1950 bis 2000).....                         | 8  |
| Abbildung 5  | Zusammenfassung Kantone BL und BS, resp. SG, AI und AR .....                | 11 |
| Abbildung 6  | Länge Strassennetz der Schweiz .....  | 14 |
| Abbildung 7  | Jährliche Inflation .....   | 16 |
| Abbildung 8  | Inflation 1950 – 2000 [Jahr 2000 = Index 100].....                          | 17 |
| Abbildung 9  | Investitionen für Neubauten .....   | 17 |
| Abbildung 10 | Differenz Neubaukosten Nationalstrasse (ganze Schweiz) .....                | 18 |
| Abbildung 11 | Investitionen für Neubauten (Kantonsstrassen) .....                         | 19 |
| Abbildung 12 | Mögliche Szenarien für Zunahme von $EpP_i$ .....                            | 22 |
| Abbildung 13 | Modelle der unabhängigen Variablen.....                                     | 28 |
| Abbildung 14 | Räumliche Verteilung der Bevölkerungsentwicklung (Standardabweichung) 31    |    |
| Abbildung 15 | relative Bevölkerungsentwicklung (nach Gemeindentypen ARE, 1990) .<br>..... | 32 |
| Abbildung 16 | Summe der Erreichbarkeit für die ganze Schweiz .....                        | 34 |
| Abbildung 17 | Histogramme der Erreichbarkeit für 1950 – 2000 (Gemeinden).....             | 35 |
| Abbildung 18 | Rang – Erreichbarkeit Kurve (Gemeinden) .....                               | 36 |

|              |   |     |
|--------------|---|-----|
| Abbildung 19 | Erreichbarkeit pro Gemeinde, Quantile (1950, 1960, 1970, 1980, 1990 und 2000) .....               | 38  |
| Abbildung 20 | Scatterplots $a\Delta\text{ERR}$ vs. $r\Delta\text{Bev}$ .....                                    | 39  |
| Abbildung 21 | Scatterplots $r\Delta\text{ERR}$ vs. $r\Delta\text{Bev}$ .....                                    | 41  |
| Abbildung 22 | Korrelationskoeffizient .....   | 44  |
| Abbildung 23 | Kosten für Neubauten pro Jahr [mit bzw. ohne Inflation] .....                                     | 45  |
| Abbildung 24 | Neubaukosten pro km .....   | 46  |
| Abbildung 25 | Scatterplots $\Delta\text{Kosten}$ vs. $\Delta\text{Erreichbarkeit}$ (auf Kantonebene) .....      | 47  |
| Abbildung 26 | Verwendete Variablen: nur relative, absolute bzw. Kombination von absoluten und relativen .....   | 51  |
| Abbildung 27 | $R^2$ für die verschiedenen Regressionsmodelle (Bezirke) .....                                    | 55  |
| Abbildung 28 | $R^2$ für die verschiedenen Regressionsmodelle (Gemeinden) .....                                  | 56  |
| Abbildung 29 | Differenz von den erhobenen Neubaukosten für Kantonsstrassen – „Soll BFS“ (gesamte Schweiz) ..... | A-2 |
| Abbildung 30 | Neubaukosten Kantonsstrasse (Erhobene Daten, bereinigte Daten und Soll-BFS) .....                 | A-3 |
| Abbildung 31 | Neubaukosten Kantonsstrasse (Erhobene Daten, „inflationbereinigt“) .....                          | A-3 |
| Abbildung 32 | Kosten Kantons- und Nationalstrasse (Jahr 1970) <b>A-Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>       |     |
| Abbildung 33 | Kosten Kantons- und Nationalstrasse (Jahr 1976) <b>A-Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>       |     |
| Abbildung 34 | Kosten Kantons- und Nationalstrasse (Jahr 1982) <b>A-Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>       |     |





## Abkürzungen

|                |   |
|----------------|---|
| ARE            | Bundesamt für Raumentwicklung   |
| a $\Delta$ Bev | absolute Bevölkerungsentwicklung  |
| a $\Delta$ Err | absolute Erreichbarkeitsentwicklung   |
| BA             | Basel, steht für die Zusammenfassung der beiden Halbkantone Basel-Stadt und Basel-Land  |
| Bev            | Wohnbevölkerung   |
| BFS            | Bundesamt für Statistik   |
| EpP            | Erreichbarkeit pro Person   |
| Err            | Erreichbarkeit  |
| IVT            | Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, ETH Zürich   |
| KNS            | Neubaukosten der Nationalstrassen   |
| OS             | Ostschweiz (steht für die Zusammenfassung des Kantons St. Gallen sowie der beiden Halbkantone Appenzell Innerrhoden und Appenzell Ausserrhoden) |
| r $\Delta$ Bev | relative Bevölkerungsentwicklung  |
| r $\Delta$ Err | relative Erreichbarekeitsentwicklung  |
| REpP           | Rang von Erreichbarkeit pro Person  |
| RErr           | Rang der Erreichbarkeit (Rang 1 = grösste Erreichbarkeit)   |
| ZR             | Zeitreihe   |

Diplomarbeit Verkehrs- und Raumplanung

## Raumstruktur und Erreichbarkeit

Martin Gätzi  
Mattenrain 6  
6312 Steinhausen

041/ 741 24 65

gaetzim@hotmail.com

Februar 2004

### Kurzfassung

Bisherige Modelle in der Raum- und Verkehrsplanung gehen davon aus, dass eine Erreichbarkeitsverbesserungen einen positiven Einfluss auf die Wirtschaft und Bevölkerung einer Region hat. Jedoch hat sich in den letzten 50 Jahren die Raumstruktur in der Schweiz wesentlich verändert. Ob deshalb die obenstehende Beziehung heute immer noch zutrifft darf zu Recht hinterfragt werden. Anhand von vom IVT zur Verfügung gestellten Daten für den Zeitraum von 1950 – 2000 sollen deshalb folgende Fragen behandelt werden:

- Waren die Investitionskosten für die Erreichbarkeitsveränderung über die Jahrzehnte konstant?
- Wie kann die Wechselwirkungen zwischen Raumstruktur (Bevölkerung) und Erreichbarkeit mit Hilfe der Zeitreihenanalyse am Besten modelliert werden?

### Schlagworte

Schweiz, Erreichbarkeit, Bevölkerungsentwicklung, Neubaukosten Nationalstrasse, Zeitreihenanalyse, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT)

### Zitierungsvorschlag

Gätzi Martin (2004) Raumstruktur und Erreichbarkeit *Diplomarbeit IVT ETH Zürich*

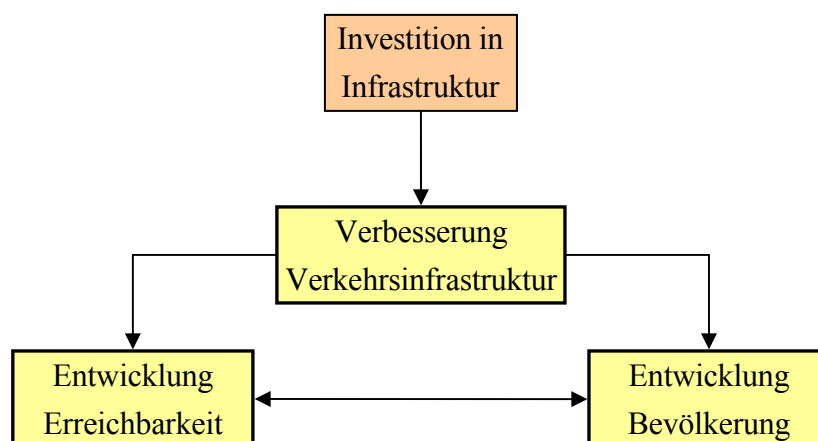
# 1 Einleitung

In Modellen der Verkehrs- und Raumplanung wurde bisher oft von der These ausgegangen, dass ein direkter Zusammenhang zwischen einer Verbesserung der Erreichbarkeit<sup>1</sup> und der Bevölkerungsentwicklung besteht. So wurden Investitionen in das Verkehrsnetz oft dadurch argumentiert, dass dadurch automatisch ein Bevölkerungszuwachs generiert werden kann.

Diese These kommt daher, dass früher durch neue Transportverbindungen isolierter Regionen an das Verkehrsnetz angebunden und so für die Wirtschaft neue Märkte geschaffen wurden. Und da die Bevölkerung seit jeher dorthin zieht, wo Arbeitsplätze vorhanden sind, bestand bis anhin ein direkter Zusammenhang zwischen Erreichbarkeitsverbesserung und der Bevölkerungsentwicklung. Ob dieser Zusammenhang heute immer noch so ist, darf jedoch zu Recht angezweifelt werden.

In dieser Arbeit soll deshalb untersucht werden, wie sich die Beziehungen zwischen Verkehrsinfrastrukturverbesserung, Erreichbarkeit und Wohnbevölkerung zwischen 1950 und 2000 verändert haben. Zur Untersuchung dienen Daten für die Schweiz aus der Periode von 1950 – 2000, welche vom Institut für Verkehrsplanung IVT der ETH Zürich zur Verfügung gestellt wurden.

Abbildung 1 Beziehungen zwischen Verkehrsinfrastruktur, Erreichbarkeit und Bevölkerung



<sup>1</sup> Der Begriff der Erreichbarkeit wird in Kapitel 2.1 definiert und diskutiert.

In Kapitel 2 wird zunächst der Begriff der Erreichbarkeit diskutiert und für diese Arbeit definiert. Danach wird das untersuchte Gebiet beschrieben, sowie wie sich einzelne Parameter in der Zeitperiode von 1950 – 2000 entwickelten. Im letzten Unterkapitel werden die zentralen Fragen aufgestellt, welche in dieser Arbeit behandelt werden sollen.

Im Kapitel 3 werden die vom Institut für Verkehrsplanung IVT der ETH Zürich erhaltenen Daten beschrieben, wobei sowohl die Herkunft als auch die Berechnungsmethoden kurz dargestellt sind. Im letzten Unterkapitel 3.4 wird gezeigt, wie die Neubaukosten der Strassen für diese Arbeit definiert wurden, sowie sind die jeweiligen Quellen der verwendeten Kosten aufgelistet.

Kapitel 4 beschreibt, welche Methoden für die folgende Analyse angewendet wurden. Zum Einen wird im ersten Unterkapitel die Berechnung der verwendeten Erreichbarkeit dargestellt, sowie kurz auf die in der Analyse verwendeten Variable Erreichbarkeit pro Person eingegangen. Das zweite Unterkapitel widmet sich ganz der angewendeten Zeitreihenanalyse, wobei auf die benutzten Analyseverfahren sowie Variablen eingegangen wird.

Im folgenden Kapitel 5 werden die aus der Analyse gewonnenen Resultate präsentiert. Zunächst wird die Entwicklung der Bevölkerung, der Erreichbarkeit sowie der Variablen Erreichbarkeit pro Person beschrieben. Danach wird auf die Wechselwirkung zwischen Bevölkerungszuwachs und Erreichbarkeitsentwicklung im betrachteten Zeitfenster von 1950 – 2000 eingegangen. Im nächsten Unterkapitel wird die Entwicklung der Neubaukosten für Nationalstrassen und auf deren erzielten Erreichbarkeitsverbesserung eingegangen. Am Schluss dieses Kapitels werden die Resultate aus der Zeitreihenanalyse diskutiert.

Das Kapitel 6 fasst die wichtigsten Erkenntnisse der Arbeit kurz zusammen. Und am Schluss der Arbeit ist das Literaturverzeichnis zu finden (Kapitel 7).

## 2 Ausgangslage

### 2.1 Grundsätzliches zur Erreichbarkeit

Für den Begriff der Erreichbarkeit existieren in der Verkehrs- und Raumplanung diverse Definitionen, welche je nach Verwendungszweck besser oder schlechter geeignet sind. In dieser Arbeit wird unter dem Begriff Erreichbarkeit folgende Definition verstanden (Geurs and 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].

Die Erreichbarkeit beschreibt also die Wechselwirkung zwischen Personen (oder Güter), Aktivitäten und dem Verkehrsnetz. Für die obenstehende Definition wurden ebenfalls diverse mathematische Ansätze entwickelt, wobei hier nur auf die beiden am häufigsten verwendeten kurz eingegangen wird:

- Isochronenansatz: Beim Isochronenansatz wird die Anzahl Aktivitäten gezählt, die von einem Punkt aus innerhalb einer bestimmten Reisezeit erreichbar sind. Als Attraktivitäten können z.B. Personen, Arbeitsplätze oder Einkaufszentren gewählt werden. Dieser Ansatz ist sehr anschaulich, jedoch werden nur wenig ausserhalb des betrachteten Zeitintervalls liegende Attraktivitäten weder betrachtet noch wird ein Unterschied zwischen den Reisezeiten innerhalb des Zeitintervalls gemacht.
- Potentialansatz: Der Potentialansatz geht davon aus, dass jede Attraktivität  $A_j$  über den ganzen Raum einen Nutzen ausstrahlt. Dieser Nutzen wird mit einer Funktion  $f(c_{ij})$  gewichtet, welche mit zunehmenden Reisekosten abnimmt.

$$E_{ij} = A_j \cdot f(c_{ij})$$

Die totale Attraktivität einer Zone  $i$  lässt sich aus der Summe aller Teilattraktivitäten  $E_{ij}$  berechnen.

$$E_i = \sum_j E_{ij} = \sum_j A_j \cdot f(c_{ij})$$

Mit der nach dem Potentialansatz ermittelten Erreichbarkeit konnte in bisherigen Forschungsarbeiten eine hohe Korrelation mit diversen Parametern der Raumnutzung festgestellt werden. Deshalb wird für diese Arbeit die Erreichbarkeit nach dem Potentialmodell gewählt<sup>2</sup>.

Für die Gewichtungsfunktion  $f(c_{ij})$  wird durch eine Exponentialkurve beschrieben, so dass sich der Erreichbarkeitswert wie folgt berechnen lässt:

$$E_i = \sum_j A_j \cdot e^{-\beta \cdot c_{ij}}$$

$E_i$  Erreichbarkeit der Zonen  $i$

$A_j$  Attraktivität der Zone  $j$

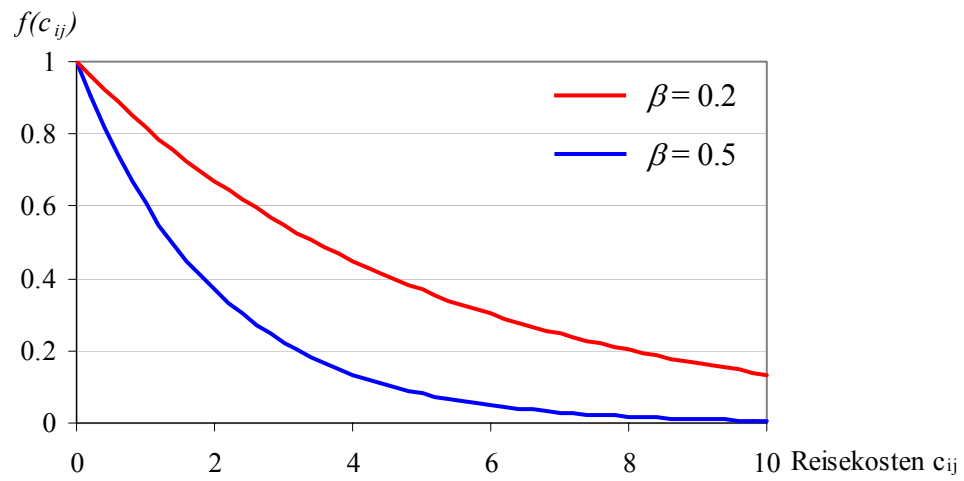
$c_{ij}$  generalisierte Kosten für die Fahrt von  $i$  nach  $j$

$\beta$  Gewichtungsfaktor

Der Gewichtungsfaktor  $\beta$  beschreibt eine Halbwertszeit der generalisierten Kosten, bei welcher die Attraktivität nur noch die Hälfte des Wertes mit  $c_{ij} = 0$  beträgt. Abbildung 2 zeigt den Verlauf der Gewichtungsfunktion für zwei verschiedenen  $\beta = 0.2$  bzw.  $\beta = 0.5$ .

---

<sup>2</sup> Im Folgenden wird in dieser Arbeit unter dem Begriff Erreichbarkeit die nach dem Potentialansatz berechnete Erreichbarkeit verstanden.

Abbildung 2 Gewichtungsfunktion  $f(c_{ij})$ 

## 2.2 Abgrenzung des Untersuchungsgebietes Schweiz

Für die Untersuchungen in dieser Arbeit wird die Landesgrenze der Schweiz als Systemgrenze gewählt. Dieses System ist jedoch in gewissen Regionen zu klein, vor allem für jene sechs Agglomerationen, welche über die Landesgrenze hinausgehen (vgl. Tab. 1):

Tabelle 1 Internationale Agglomerationen der Schweiz (1990)

| Agglomeration              | Wohnbevölkerung total | Wohnbevölkerung CH | [%]  |
|----------------------------|-----------------------|--------------------|------|
| Basel                      | 559'748               | 406'391            | 72.6 |
| Schaffhausen               | 61'140                | 59'819             | 97.8 |
| Genf                       | 553'746               | 424'028            | 76.6 |
| Vaduz – Buchs              | 44'012                | 19'083             | 43.4 |
| Como – Chiasso – Mendrisio | 183'595               | 42'550             | 23.2 |
| Konstanz – Kreuzlingen     | 99'834                | 23'804             | 23.8 |

Quelle: Die Raumgliederung der Schweiz, Eidgenössische Volkszählung 1990

Um für Regionen mit grenzüberschreitenden Agglomerationen die Beziehungen realitätsgetreu abzubilden, müssten auch grenznahe Gemeinden im Ausland im System aufgenommen werden. Da aber sowohl Daten über das Verkehrsnetz als auch die Bevölkerungsentwicklung für Gemeinden ausserhalb der Schweiz nicht vorhanden sind, wurde auf die Einbeziehung dieser Gemeinden verzichtet.

Dadurch werden für diese sechs Agglomerationen wichtige Attraktivitätspunkte nicht erfasst und somit die Wirtschaftsbeziehungen und das Verkehrsverhalten nicht realitätsgetreu nachgebildet. Vor allem bei den Agglomerationen Vaduz – Buchs, Como – Chiasso – Mendrisio und Konstanz – Kreuzlingen werden die wichtigsten Attraktivitätspunkte nicht berücksichtigt, da das Hauptzentrum der Agglomeration jeweils im Ausland liegt. Die berechneten Erreichbarkeiten innerhalb der Schweiz werden zwar nicht verfälscht, da aber vor allem die drei letztgenannten Agglomerationen sehr auf das Nachbarland orientiert sind, wird die Erreichbarkeit unterschätzt.

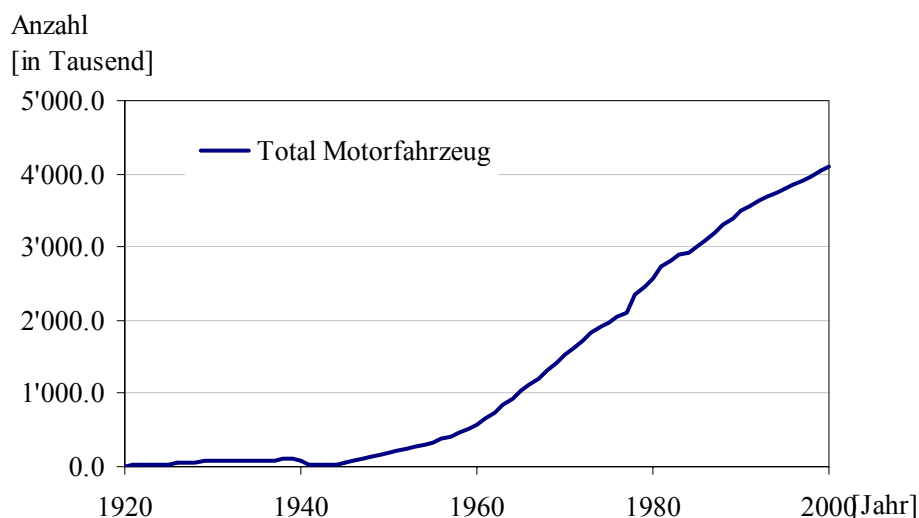


## 2.3 Zeitfenster 1950 – 2000

Das untersuchte Zeitfenster reicht von 1950 bis 2000. Da die Schweiz in dieser Periode nie selber in einen Krieg verwickelt war, verlief die Entwicklung weitgehend ungestört. Jedoch blieb die Schweiz nicht unbeeinflusst von Kriegen in anderen Ländern (z.B. Kriege im Balkan, Sri Lanka, die wesentliche Änderungen in der Demografie der Schweiz mit sich brachten).

Herrschte nach dem 2. Weltkrieg in der Schweiz zunächst eine allgemeine Flaute, war der Beginn der untersuchten Periode dagegen von einem starken Boom der Wirtschaft geprägt. Die 50er Jahre waren ebenfalls geprägt vom Beginn der Massenmotorisierung: Die reale Verbilligung von Nahrungsmitteln und die Entwicklung von Technologien, welche eine preiswertere Produktion von Fahrzeugen ermöglichten, waren massgebend für die Massenmotorisierung. Da jedoch nach der angespannten Wirtschaftssituation nach dem Krieg in den 50er Jahren zunächst noch das Sparen der Bevölkerung überwiegte, setzte der eigentliche Boom des Motorfahrzeugbestandes in der Schweiz erst etwa 1960 ein.

Abbildung 3 Entwicklung des Motorfahrzeugbestandes<sup>3</sup> in der Schweiz (1950 bis 2000)



Quelle: Historische Geschichte der Schweiz

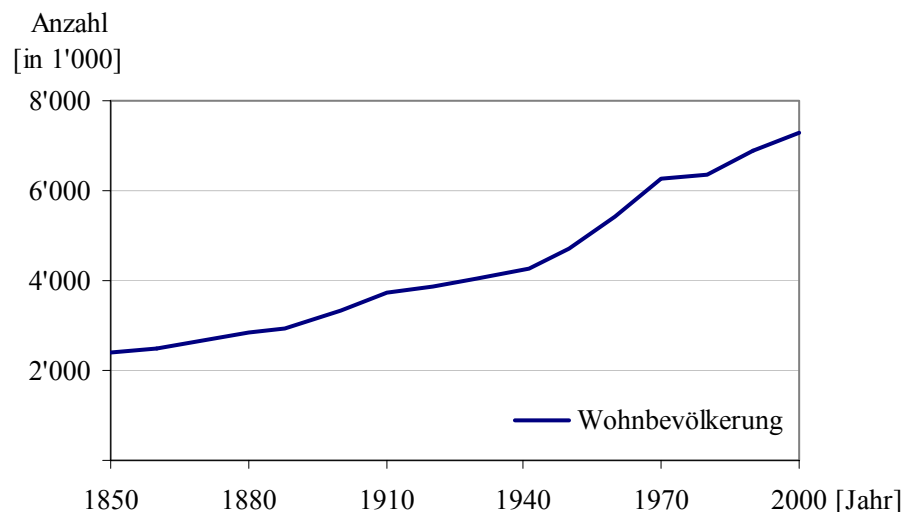
<sup>3</sup> Folgende Fahrzeuge sind darin Enthalten: Personenwagen, Kombiwagen, Lieferwagen, Lastwagen, Gesellschaftswagen, gewerbliche Traktoren sowie Spezialwagen (ohne Armeefahrzeuge und Landwirtschaftstraktoren)

Um mit dem stark wachsenden Verkehrsaufkommen auch in Zukunft klarzukommen, wurde bereits in den 50er Jahren mit der Planung eines Nationalstrassennetzes begonnen. Im Juli 1958 stimmte der Soverän mit einer Mehrheit von über 80% dem Bau der Nationalstrassen zu. Bereits im folgenden Jahr konnten erste Abschnitte des Nationalstrassennetzes eröffnet werden.

Nachdem in den 50er und 60er Jahren die Autobahnen noch als Symbole der Freiheit gepriesen wurden, entwickelte sich Ende der 60er Jahre immer mehr ein Umweltbewusstsein, welches bis heute immer stärker wurde. Immer mehr wurden umwelt- und sozialverträglichere Bauvarianten gefordert. Der Bau der Nationalstrassen wurde deshalb immer teurer und die Fertigstellung neuer Abschnitte dauerte immer länger.

In der Entwicklung der schweizerischen Wohnbevölkerung in der betrachteten Periode von 1950 bis 2000 ist zunächst geprägt von einem starken Wachstum nach dem 2. Weltkrieg. Ende der 70er Jahre ist die Entwicklung geprägt von dem „Pillenknicke“, welcher in beinahe allen westlichen Ländern für einen markanten Knick in der Wohnbevölkerungsentwicklung steht. Erst gegen Ende des Jahrhunderts stieg die Bevölkerungsentwicklung wieder an.

Abbildung 4 Wohnbevölkerung in der Schweiz (1950 bis 2000)



Quelle: Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, ETH Zürich

## 2.4 Zentrale Fragen

Modelle der Wechselwirkung von Raumstruktur und Verkehrsnachfrage gehen davon aus, dass Erreichbarkeitsverbesserungen einen positiven Einfluss auf die Bevölkerungsentwicklung haben. Es soll in dieser Arbeit untersucht werden, in wiefern dies auf die Schweiz in dem Zeitfenster von 1950 bis 2000 zutrifft.

Mit den am Institut für Verkehrsplanung der ETH Zürich erstellten Daten sollen die folgenden 3 zentralen Fragen untersucht werden:

- Waren die Investitionskosten für die Erreichbarkeitsveränderung über die Jahrzehnte konstant?
- Wie können die Wechselwirkungen zwischen der Raumstruktur (Wohnbevölkerung) und der Erreichbarkeit mit Hilfe der Zeitreihenanalyse am besten modelliert werden?
- Wie kann man die partiellen Beiträge von Bevölkerungswachstum und Netzausbau auf die Erreichbarkeit ermitteln?

## **3 Grundlagen und Datenlage**

### **3.1 Wohnbevölkerung**

#### **3.1.1 Volkszählungen**

Mit nur zwei Ausnahmen wird seit 1850 in zehnjährigem Abstand eine eidgenössische Volkszählung durchgeführt. Grundlage dazu bildet das Bundesgesetz über die eidgenössische Volkszählung. Seit 1950 wurde ohne Unterbruch alle 10 Jahre eine Zählung durchgeführt, was ein Vergleichen der Daten erleichtert. Da diese Zählungen gemeindescharf durchgeführt wurden, bildet die Gemeinde die kleinstmögliche Einheit für weitere Untersuchungen.

#### **3.1.2 Gemeinde, Bezirk, Kanton**

Ein grosses Problem in Betrachtungen über lange Zeit stellen Gemeindemutationen dar: Zu Beginn des Beobachtungszeitfensters bestand die Schweiz aus 3101 Gemeinden, ein halbes Jahrhundert später, nur noch aus 2986 (IVT Arbeitsbericht 165). Um diesem Problem der Gemeindemutationen innerhalb des Betrachtungszeitfensters aus dem Weg zu gehen, werden alle Analysen mit dem Gemeindestand 2000 gemacht. (D.h. falls zum Beispiel eine Gemeindefusion der Gemeinden A und B im Jahre 1960 stattfand, so wurden A und B für das ganze Zeitfenster jeweils nur als eine Gemeinde mit der Summe der Wohnbevölkerungen aus A und B betrachtet.)

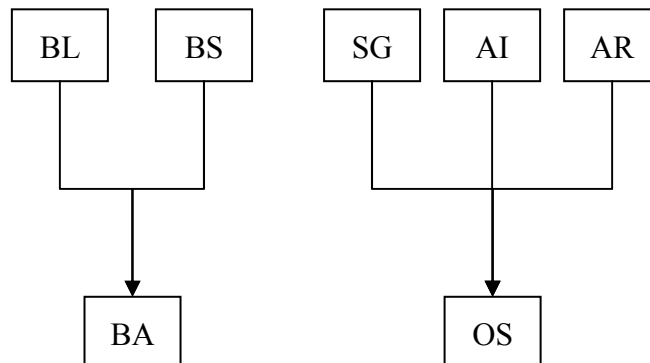
Politisch sind die 2986 Gemeinden in 26 Kantone unterteilt, 23 Ganz- und 6 Halbkantone. Da die Kantone sowohl in der Wohnbevölkerung sowie in der Anzahl der Gemeinden stark variieren (vgl. Tabelle 2), wurden als raumplanerische Zwischenstufe 185 Bezirke definiert. Die Bezirke sind jedoch ebenfalls sehr unterschiedlich in der Wohnbevölkerung resp. Anzahl Gemeinden, jedoch kann eine räumliche Verteilung eines Merkmals in der Schweiz besser beurteilt werden, da eine feinere Aufteilung der Schweiz vorgenommen wurde.

Tabelle 2 Maximale/ minimale Wohnbevölkerung und Anzahl Gemeinde

|          | Wohnbevölkerung    |                  | Anzahl Gemeinden |            |
|----------|--------------------|------------------|------------------|------------|
|          | Minimum            | Maximum          | Minimum          | Maximum    |
| Kantone  | 14'618 (AI)        | 1'247'906 (ZH)   | 3 (AI)           | 400 (BE)   |
| Bezirke  | 1'605 (Münstertal) | 413'673 (Genf)   | 1(diverse)       | 91(Lugano) |
| Gemeinde | 22 (Corippo TI)    | 363'273 (Zürich) | –                | –          |

Die beiden Halbkantone Basel-Stadt und Basel-Land sowie die drei Kantone Appenzell Innerrhoden – Appenzell Ausserrhoden – St. Gallen können infolge ihrer grossen sozialen und wirtschaftlichen Abhängigkeit voneinander nicht räumlich getrennt werden. Deshalb werden sie in den Analysen durch jeweils einen Kanton ersetzt:

Abbildung 5 Zusammenfassung Kantone BL und BS, resp. SG, AI und AR



Die Abkürzungen BA und OS wurden frei gewählt, und stehen für Basel bzw. Ostschweiz.

## **3.2 Verkehrsnetz**

### **3.2.1 Modellierung Verkehrsnetz**

Für die Berechnung der Erreichbarkeiten liegt ein modelliertes Strassennetz für die Schweiz zugrunde, welches vom IVT der ETH Zürich erstellt wurde. Grundlage für dieses modellierte Netz ist das reale Strassennetz aus dem Jahr 2000 wobei nur Kantons- und Nationalstrassen berücksichtigt wurden. Dieses Verkehrsnetz für das Jahr 2000 besteht aus etwa 20'000 Strecken resp. etwa 15'000 Knoten.

Um die Verkehrsnetze der Jahre 1950, 1960, 1970, 1980 und 1990 rekonstruieren zu können wurden jeweils die Abschnitte der Nationalstrassen in ihrem Eröffnungsjahr aus dem Netz vom Jahr 2000 entfernt. Die Kantonsstrassen dagegen wurden auf dem Stand des Jahres 2000 gelassen, da entsprechende Netze noch nicht modelliert sind.

Die Gemeinden sind jeweils an jenem Knoten an das digitale Verkehrsnetz angebunden worden, welcher der Zentrumsordinate am nächsten liegt, ohne zusätzliche Zugangs- bzw. Abgangszeiten zwischen der Zentrumsordinate und dem Verkehrsnetz. Zentrumsordinaten sind die geografischen Mittelpunkte der Hauptorte der Gemeinden und wurden vom BFS berechnet (BFS, 2000). Dieser Knoten bildet jeweils Start- resp. Zielpunkt für Fahrten von einer Gemeinde zu einer anderen.

### **3.2.2 Berechnung Reisezeiten**

Die Reisezeiten im digitalen Verkehrsnetz zwischen jeder Gemeinde der Schweiz und allen anderen wurden vom IVT im Rahmen des Projektes COST 340 berechnet (Fröhlich, Axhausen 2000). Zur Berechnung wurde das Programm VISUM von der Firma PTV Projektierung Transport Verkehr AG verwendet. Es wurde jeweils der schnellste Weg ohne Berücksichtigung von Überlastungen berechnet, was teilweise zu unrealistischen Resultaten führen kann. Dies wurde jedoch dadurch bereinigt, dass verschiedene Durchschnittsgeschwindigkeiten je nach Strassentyp verwendet wurden. So wurde zum Beispiel die Durchschnittsgeschwindigkeit in den stark belasteten städtischen Hauptverkehrsstrassen auf 22 km/h beschränkt (vgl. Tab. 3)

Tabelle 3 Durchschnittsgeschwindigkeiten nach Strassentypen und Jahr [km/h]

| Strassentyp                        | Jahr |      |      |      |      |      |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                                    | 1950 | 1960 | 1970 | 1980 | 1990 | 2000 |
| Autobahn 120 km/h                  | 85   | 95   | 110  | 112  | 114  | 114  |
| Autobahn / Schnellstrasse 100 km/h | 85   | 95   | 90   | 92   | 94   | 94   |
| Autobahn / Schnellstrasse 80 km/h  | 85   | 95   | 75   | 77   | 79   | 79   |
| Autobahnzubringer                  | 30   | 30   | 30   | 30   | 30   | 30   |
| Hauptverkehrsstrassen              | 40   | 45   | 55   | 65   | 70   | 70   |
| Verbindungsstrassen                | 35   | 40   | 50   | 60   | 60   | 60   |
| Sammelstrasse                      | 30   | 35   | 45   | 50   | 50   | 50   |
| Erschliessungs- / Quartierstrasse  | 25   | 25   | 35   | 40   | 40   | 40   |
| Alpine Transitstrassen             | 35   | 40   | 50   | 60   | 60   | 60   |
| Alpine Hauptverkehrsstrasse        | 30   | 35   | 45   | 50   | 50   | 50   |
| Alpine Sammelstrassen              | 25   | 25   | 35   | 40   | 40   | 40   |
| Alpine Erschliessungsstrassen      | 15   | 20   | 25   | 30   | 30   | 30   |
| Städtische Hauptverkehrsstrassen   | 22   | 22   | 22   | 22   | 22   | 22   |
| Städtische Sammelstrassen          | 17   | 17   | 17   | 17   | 17   | 17   |

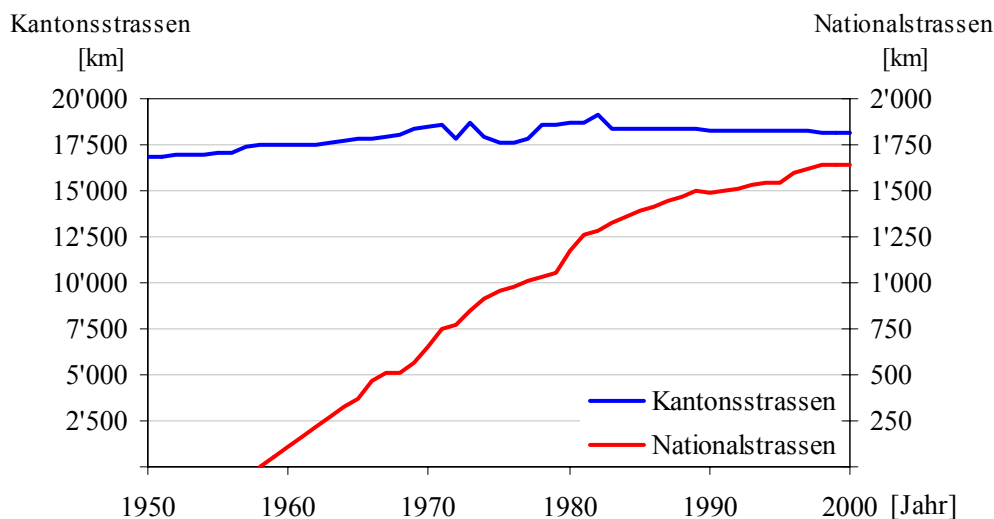
Quelle: Fröhlich und Axhausen (2002)

### 3.3 Verkehrsnetzausbau

Seit 1950 wurde das Kantonsstrassennetz der Schweiz von 16'867 km auf 18'134 km ausgebaut. Jedoch sind in dieser Zeit deutlich mehr als 1'267 km neue Kantonsstrassen gebaut worden. Diverse Neuklassifizierungen von Kantonsstrassen zu Gemeindestrassen liessen jedoch das Kantonsstrassennetz der Schweiz zwischenzeitlich sogar schrumpfen. Da es nicht möglich war, alle Neuklassifizierungen der Kantone ausfindig zu machen, sind in Abbildung 6 nur die jeweils als Kantonsstrassen klassifizierten Strassen dazugezählt wurden.

Das geplante schweizerische Nationalstrassennetz verfügt über eine Gesamtlänge von 1'858 km. Ende 2000 waren 88.4% (1'642 km) davon in Betrieb<sup>4</sup>.

Abbildung 6 Länge Strassennetz der Schweiz



Quelle: Statistische Jahrbuch der Schweiz (div. Jahrgänge)

<sup>4</sup> Die restlichen knapp 12% sollten bis 2019 beendet sein (ASTRA).



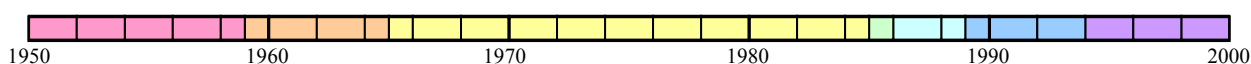
Der Ausbau des Verkehrsnetzes wurde in den Untersuchungen jeweils mit den Investitionen gemessen, welche für Neubauten aufgebracht wurden. Es wurde versucht zwischen dem Ausbau der Kantons- und Nationalstrassen zu unterscheiden.

### 3.4 Kosten für Neubau Kantons- und Nationalstrassen

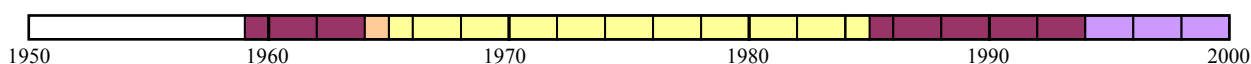
Da für das betrachtete Zeitfenster von 1950 bis 2000 keine Daten für Neubaukosten der Kantonsstrassen vorhanden waren, welche die ganze Periode abdecken, mussten sie aus verschiedenen Quellen zusammengestellt werden. Die Zusammenstellung ist wie folgt:

Tabelle 4 Quellen Neubaukosten Kantons- und Nationalstrassen

Kantons- und Nationalstrassen:















Nationalstrassen:



Jahr:

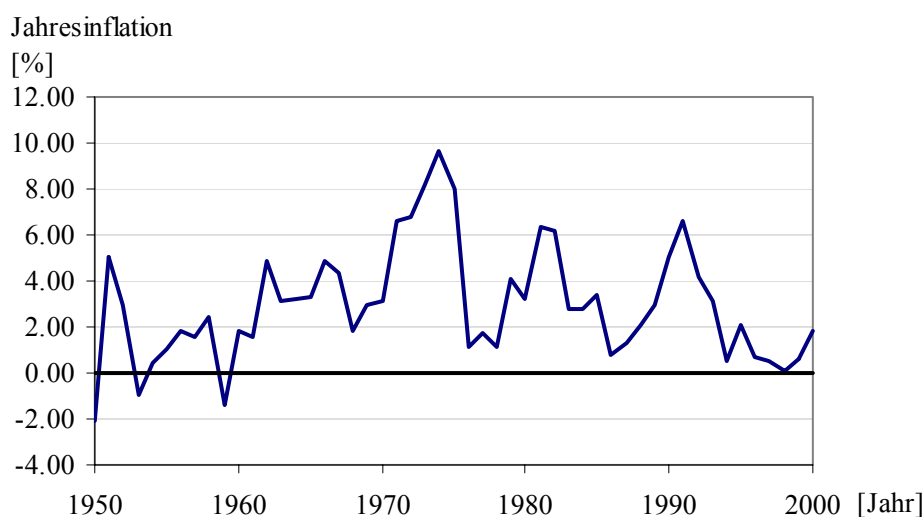
Quelle:

|             |   |   |
|-------------|---|---|
| 1950 – 1958 |  | Statistisches Jahrbuch der Schweiz (div. Jahrgänge)           |
| 1959 – 1964 |  | Schweizerische Strassenrechnung, Eidgenössisches statist. Amt |
| 1965 – 1984 |  | Magazin „Strasse und Verkehr“ (div. Ausgaben)                 |
| 1985        |  | Statistisches Jahrbuch der Schweiz                            |
| 1986 – 1988 |  | Interpoliert zwischen 1985 und 1989                           |
| 1989 – 1993 |  | Kantone und Städte – städtische Übersicht (div. Jahrgänge)    |
| 1994 – 2000 |  | Bundesamt für Statistik (CD erhalten von M. Tschopp, IVT)     |
| 1959 – 1963 |  | Historische Geschichte der Schweiz BFS                        |
| 1985 – 1993 |  | Historische Geschichte der Schweiz BFS                        |
| 1964        |  | Schweizerische Strassenrechnung, Eidgenössisches statist. Amt |
| 1965 – 1984 |  | Magazin „Strasse und Verkehr“ (div. Ausgaben)                 |
| 1994 – 2000 |  | Bundesamt für Statistik (CD erhalten von M. Tschopp, IVT)     |

Um die Kosten aus früheren Jahren mit den heutigen vergleichen zu können, müssen alle gesammelten Daten der Inflation unterworfen werden. Die jährliche Inflation war zwischen 1950 und 2000 starken Schwankungen unterworfen, so dass nicht von einer konstanten Inflation ausgegangen werden kann. Das Minimum von ca. -2 % war zu Beginn und Ende der 50er Jahren erreicht, das Maximum von beinahe 10 % war im Jahr 1973, als die Wirtschaft als Folge der weltweiten Ölkrise durchgeschüttelt wurde.

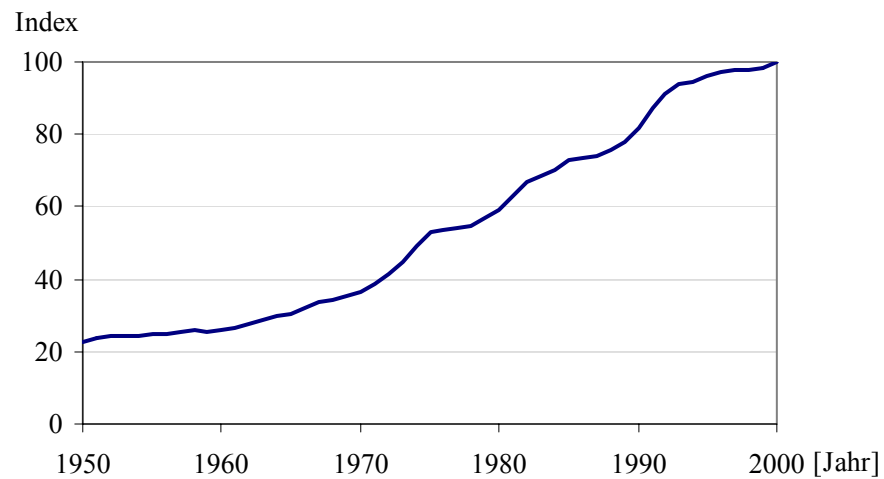
Werden die jährlichen Inflationen kumuliert, so ist ersichtlich, dass etwa 22 SFr aus dem Jahre 1950 heute 100 SFr wert sind, resp. dass Ausgaben aus dem Jahr 1950, umgerechnet auf das Jahr 2000, viermal so hoch sind (vgl. Abb. 8).

Abbildung 7 Jährliche Inflation



Quelle: Schweizerische Nationalbank

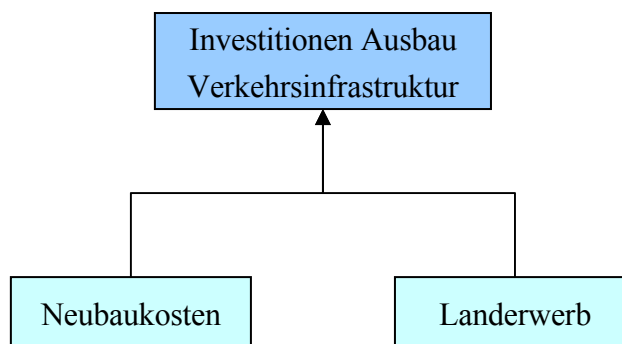
Abbildung 8 Inflation 1950 – 2000 [Jahr 2000 = Index 100]



Quelle: Schweizerische Nationalbank

Als Investitionen für den Ausbau des Verkehrsnetzes werden in dieser Arbeit Kosten für Neubauten sowie Kosten für Landerwerb betrachtet<sup>5</sup>.

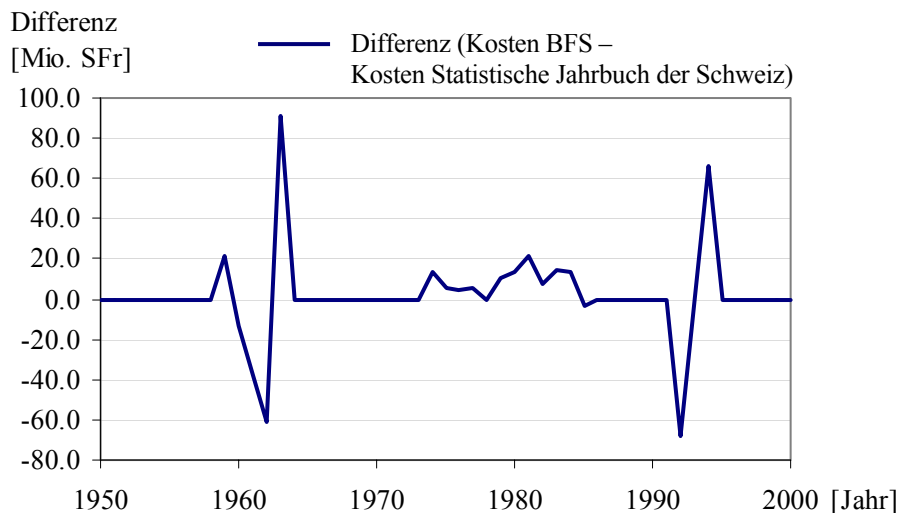
Abbildung 9 Investitionen für Neubauten



<sup>5</sup> Begründung siehe Anhang A

Werden die so bestimmten Investitionskosten für Nationalstrassen der verschiedenen Quellen miteinander verglichen, so stimmen sie, dort wo Überlappungen vorhanden sind, gut miteinander überein. Da vom BFS gesamtschweizerische Daten für Neubaukosten erhalten wurde, ist der Vergleich der gesammelten Kosten aus den Quellen und den Kosten des BFS möglich:

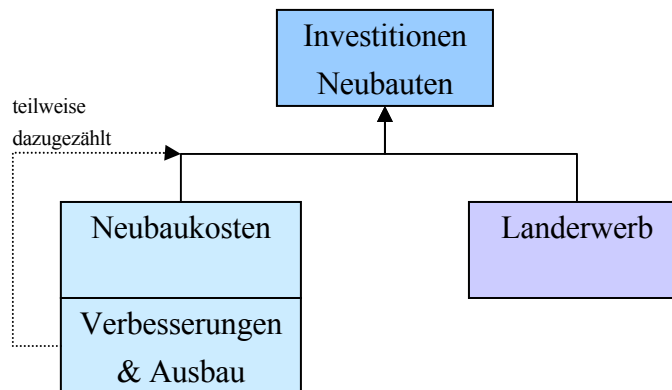
Abbildung 10 Differenz Neubaukosten Nationalstrasse (ganze Schweiz)



Da die Summe der Differenzen der Spitzen zwischen den Jahren 1959 – 1963 bzw. 1992 – 1994 jeweils null beträgt, sind diese wahrscheinlich auf zeitlich unterschiedliche Buchungen der Kosten zurückzuführen. Die Differenzen zwischen 1973 und 1986 sind zwar nicht erklärbar, jedoch sind diese bei totalen Neubaukosten von rund 1.3 Mia. SFr pro Jahr (vgl. Abb. 23) nicht wesentlich.

Hingegen konnte bei den Kantonsstrassen mit derselben Definition der Neubaukosten keine befriedigende Übereinstimmung gefunden werden. Für einige Kantone stimmen die Beträge überein, für andere nicht. Ein möglicher Grund, weshalb die Kosten voneinander abweichen, könnte sein, dass die Kosten nicht bei allen Kantonen gleich abgebucht wurden: d.h. einige verstanden unter dem Begriff „Neubau“ sowohl „Neubauten“ als auch „Verbesserung und Ausbau“, für andere dagegen waren „Verbesserung und Ausbau“ bei den baulichen Unterhaltskosten verrechnet worden.

Abbildung 11 Investitionen für Neubauten (Kantonsstrassen)



Für die weiteren Analysen wurde deshalb auf die Verwendung der Neubaukosten der Kantonsstrassen verzichtet. Eine detailliertere Betrachtung zu den Neubaukosten der Kantonsstrassen ist in Anhang A ersichtlich.

## 4 Methoden / Untersuchungen

### 4.1 Berechnung Erreichbarkeit

Die Erreichbarkeiten jeder Gemeinde der Schweiz wurden vom Institut für Verkehrsplanung der ETH Zürich gemäss der Definition des Potentialansatzes für die Jahre 1950, 1960, 1970, 1980, 1990 und 2000 berechnet:

$$E_i = \sum_{j=1}^{n=2896} A_j \cdot e^{-\beta \cdot c_{ij}}$$

- $E_i$  Erreichbarkeit der Gemeinde i
- $A_j$  Wohnbevölkerung der Gemeinde j
- $n$  Anzahl Gemeinden (= 2896)
- $\beta$  0.2
- $c_{ij}$  Reisezeit zwischen der Gemeinde i und j (folglich Kap. 3.2.2)
- $c_{ii}$  interne Reisezeit (vgl. Tabelle 5)

Um den Anteil der Erreichbarkeit aufgrund der Attraktivitätsgelegenheit innerhalb der Ausgangsgemeinde ( $i=j$ ) berechnen zu können, wurden folgende interne Reisezeiten verwendet:

Tabelle 5 Interne Reisezeiten ( $i=j$ )

| Wohnbevölkerung  | Reisezeit $c_{ij}$ [Minuten] |
|------------------|------------------------------|
| > 100'000        | 15                           |
| 100'000 – 30'000 | 10                           |
| 30'000 – 5'000   | 7                            |
| < 5'000          | 4                            |

Quelle: Fröhlich und Axhausen (2002)

Für Untersuchungen auf kantonaler bzw. auf Bezirksebene sind die einzelnen Erreichbarkeiten der Gemeinden innerhalb eines Kantones bzw. Bezirkes addiert worden.

Um die Entwicklung der Erreichbarkeit weiter analysieren zu können, wird hier die neue Variable Erreichbarkeit pro Person (EpP) eingeführt<sup>6</sup>.

$$EpP_i = \frac{E_i}{A_i}$$

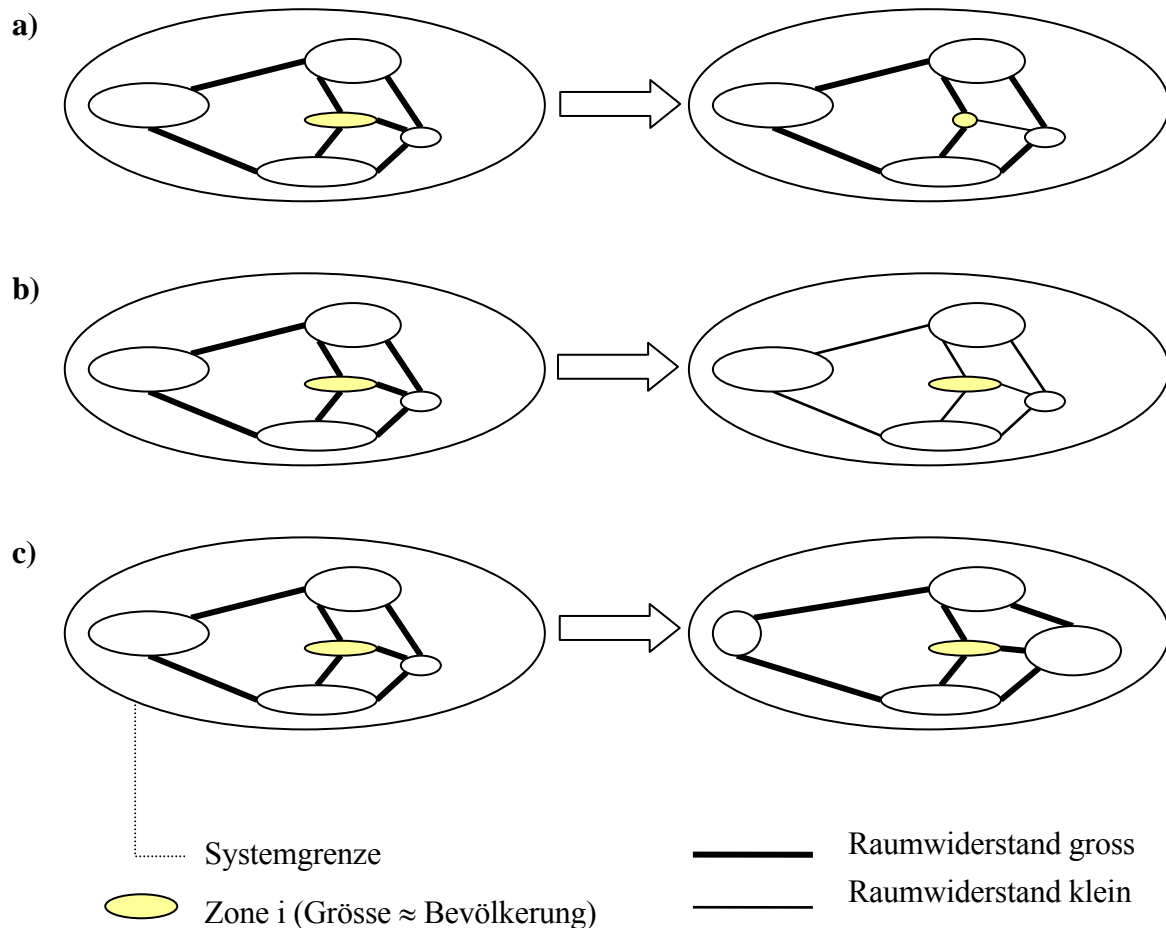
$E_i$ : Erreichbarkeit der Zone i

$A_i$ : Wohnbevölkerung in der Zone i

Da jedoch die Erreichbarkeit  $E_i$  aus einer Summe von Beziehungen mit dem ganzen Untersuchungsgebiet besteht, ist EpP nicht nur von  $E_i$  bzw.  $A_i$  abhängig: So kann z.B. eine Zunahme von  $EpP_i$  daher kommen, dass die Wohnbevölkerung in der Zone i abnahm, alle anderen Komponenten jedoch konstant blieben (Abb. 9 a). Eine andere Möglichkeit eines positiven  $\Delta EpP_i$  ist die, dass die Wohnbevölkerung zwar konstant blieb, die Verkehrsinfrastruktur aber verbessert wurde, und so die Raumwiderstände verkleinert wurden (Abb. 9 b). Eine dritte Möglichkeiten wie  $EpP_i$  steigen kann, ist eine Änderung der Siedlungsstruktur im Untersuchungsgebiet: Konzentriert sich die Bevölkerung um einige wenige Zentren, so steigt die Erreichbarkeit auch in jenen Zonen, welche ebenfalls in der Nähe der Zentren liegen, jedoch weder Bevölkerungszuwachs noch Infrastrukturverbesserungen erfahren haben (Abb. 9 c).

---

<sup>6</sup> In Anlehnung an M.E. O'Kelly und M.W. Horner (2001)

Abbildung 12 Mögliche Szenarien für Zunahme von  $EpP_i$ 

Da kleine Zonen von den oben beschriebenen Merkmalen stärker betroffen sind als grössere<sup>7</sup>, werden die folgenden Untersuchungen mindestens auf Bezirksebene gemacht.

$$EpP_{Bez} = \frac{\sum_{i \in Bez} E_i}{\sum_{i \in Bez} A_i}$$

<sup>7</sup> Kleine Zonen (Gemeinden) mit wenig Wohnbevölkerung reagieren stark im Erreichbarkeitswert, wenn eine Zone in der Nähe z.B. überdurchschnittlichen Zuwachs hat (Fall C in Abb. 9). Wenn die Gebiete für Vergleiche mehrere kleine Zonen enthalten (Bezirke), so können diese Effekte gedämpft werden.



Es wird vermutet, dass mit dem so erhaltenen Wert  $EpP_{Bez}$  eine grobe Abschätzung gemacht werden kann, ob die Erreichbarkeit vor allem infolge von Bevölkerungszuwachs in der Region, oder aber von einer Verbesserung der Verkehrsinfrastruktur resultiert: Steigt  $EpP$  so wurde die Verkehrsinfrastruktur wesentlich verbessert, bzw. sinkt  $EpP$ , dann war die Bevölkerungsentwicklung stärker als die Verbesserung des Verkehrsnetzes.

## 4.2 Datenanalyse

### 4.2.1 Regressionsanalysen und Software

Zur Ermittlung von Abhängigkeiten zwischen Erreichbarkeit, Wohnbevölkerung und Investitionskosten in das Verkehrsnetz wurden jeweils lineare Regressionen nach der Methode der kleinsten Abweichungsquadrate durchgeführt.

Die Berechnungen der Regressionen wurden vor allem mit SPSS für Windows 11.5.0 durchgeführt. Für die grafischen Darstellungen der Ergebnisse wurde das Programm ArcView GIS 3.3 benutzt.

### 4.2.2 Zeitreihenanalyse und multiple lineare Regression

Für Prognosen ist häufig der Zusammenhang zwischen zwei oder mehreren Variablen, welche mit der Zeit variabel sind, von Interesse. Dies soll anhand einer Zeitreihenanalyse ermittelt werden.

Eine Zeitreihe besteht aus drei Komponenten gemäss Billeter/Vlach (1989) aus folgenden drei Komponenten:

- Trend (T): allgemeine zeitliche Entwicklung der Zeitreihe
- zyklische Schwankung (Z): zeitlich relativ unveränderte Schwankungen (z.B. Saisonkomponente)
- Restkomponente (R): zufällige Schwankungen

Diese drei Komponenten lassen sich entweder additiv oder multiplikativ zu einer Zeitreihe (ZR) zusammensetzen:

- additives Modell:  $ZR = T + Z + R$
- multiplikatives Modell:  $ZR = T \cdot Z \cdot R$

Die Zeitreihenanalyse kann sowohl mit absoluten Werten der Variablen zum Zeitpunkt  $t$  als auch mit den Differenzen zwischen zwei Zeitpunkten  $t$  und  $t+1$  durchgeführt werden. Da zwischen 1950 und 2000 für jede Variable nur Werte zu sechs verschiedenen Zeitpunkten zur Verfügung stehen (bzw. sogar nur fünf bei Perioden à 10 Jahren), können keine verlässliche Resultate für eine zyklische Schwankung  $Z$  erwartet werden. Deshalb wird angenommen, dass die Komponente  $Z = 0$  ist, bzw. dass die zeitliche Entwicklung nur von der Trendkomponente  $T$  und der Restkomponente  $R$  bestimmt wird.

Da in der vorliegenden Arbeit jeweils mehrere unabhängige Variablen für die Untersuchungen zur Verfügung stehen, kann das oben beschriebene univariate Komponentenmodell zu einem multivariaten Modell erweitert werden. Daraus folgt für das additive Modell:

$$y_t = b_0 + b_1 \cdot x_{1,t} + b_2 \cdot x_{2,t} + \dots + b_n \cdot x_{n,t} + u_t$$

$$\Delta y_{(t,t+t_0)} = b_0 + b_1 \cdot \Delta x_{1,(t,t+t_0)} + b_2 \cdot \Delta x_{2,(t,t+t_0)} + \dots + b_n \cdot \Delta x_{n,(t,t+t_0)} + u_{t,t+t_0}$$

bzw. für das multiplikative Modell:

$$y_t = b_0 \cdot (x_{1,t})^{b_1} \cdot (x_{2,t})^{b_2} \cdot \dots \cdot (x_{n,t})^{b_n} \cdot u_t$$

$$\Delta y_t = b_0 \cdot (\Delta x_{1,(t,t+t_0)})^{b_1} \cdot (\Delta x_{2,(t,t+t_0)})^{b_2} \cdot \dots \cdot (\Delta x_{n,(t,t+t_0)})^{b_n} \cdot u_{(t,t+t_0)}$$

|                |   |
|----------------|---|
| $y_t$ :        | Wohnbevölkerung zum Zeitpunkt $t$   |
| $\Delta y_t$ : | Entwicklung der Wohnbevölkerung zwischen $t$ und $t+t_0$                                      |
| $t_0$ :        | Dauer der Periode (10 Jahre)  |
| $x_i$ :        | unabhängige Variable zum Zeitpunkt $t$ ; $i = 1 \dots n$                                      |
| $\Delta x_i$ : | Entwicklung der unabhängige Variabel zum Zeitpunkt zwischen $t$ und $t+t_0$ ; $i = 1 \dots n$ |
| $b_i$ :        | konstanter Regressionskoeffizient   |
| $u_i$ :        | unerklärbarer Teil der Restkomponente   |
| $n$ :          | Anzahl unabhängiger Variablen (exogene Einflussgrößen)  |

Das multiplikative Modell kann mittels Logarithmierung wieder in ein lineares Modell überführt werden:

$$\ln(y_t) = \ln(b_0) + b_1 \cdot \ln(x_{1,t}) + b_2 \cdot \ln(x_{2,t}) + \dots + b_n \cdot \ln(x_{n,t}) + \ln(u_t)$$

$$\Delta y = b_0 + b_1 \cdot \ln(\Delta x_{1,(t,t+t_0)}) + b_2 \cdot \ln(\Delta x_{2,(t,t+t_0)}) + \dots + b_n \cdot \ln(\Delta x_{n,(t,t+t_0)}) + \ln(u_{(t,t+t_0)})$$

Das Vorgehen in der in Kapitel 5 beschriebenen Analyse ist wie folgt: Zunächst wird versucht, mit einfachen Regressionen zu zeigen, welche Variablen einen starken Einfluss auf die abhängige Variable haben, und wie sich diese Abhängigkeiten mit der Zeit verhalten (Kapitel 5.3). Danach soll mit einer Zeitreihenanalyse versucht werden, die abhängige Variable mit mehreren unabhängigen Variablen zu modellieren (multiple Regression, Kapitel 5.5).

Um die relevanten Einflüsse zu bestimmen, resp. nicht relevante Variablen aus dem Modell auszuschliessen, wurde die vorwärtsgerichtete Auswahl<sup>8</sup> gewählt („forward selection“: Bahrenberg/ Giese/ Nipper, 1992). Dieses Vorgehen wird sowohl für das additive als auch für das multiplikative Modell angewendet, um das Modell mit dem höchsten Erklärungsgrad bestimmen zu können.

Zwingende Bedingung um das multiplikative Modell anwenden zu können, ist dass sowohl die abhängigen als auch die unabhängigen Variablen grösser als null sind:

$$\begin{array}{ll} x_i \geq 0 & \text{(sonst } (x_i)^{b_i} \text{ nicht definiert)} \\ \Delta x_{i(t,t+t_0)} \geq 0 & \text{(sonst } (\Delta x_{i(t,t+t_0)})^{b_i} \geq 0 \text{ nicht definiert)} \end{array}$$

Dies ist jedoch nicht erfüllt, falls Differenzen als Variablen definiert sind. In diesem Fall wurde deshalb nur das additive Modell verwendet.

### 4.2.3 Typologische Unterteilung der Bezirke und Gemeinden

Wie in Kapitel 5.1 ersichtlich wird, gibt es je nach Gemeindetyp massgebende Unterschiede in der Bevölkerungsentwicklung. Deshalb werden die Gemeinden sowie die Bezirke bei der Zeitreihenanalyse in drei verschiedene Typen unterteilt. Bei den Bezirken wird unterteilt nach:

---

<sup>8</sup> Als erste Variable  $X_i$  wird diejenige einbezogen, deren einfache Korrelation mit  $Y$  absolut am grössten ist. Anschliessend wird jeweils die Variable dazugefügt, welche den grössten Anteil an die durch die bereits einbezogenen Variablen noch nicht erklärte Restvarianz hat (grösster partielle Korrelationskoeffizient). Der letzte Schritt wird so lange wiederholt, bis der zusätzliche Einfluss einer weiteren Variablen nicht mehr signifikant ist (, was mit dem partielle F-Test und einem Abbruchkriterium von 0.05)

- Typ 1: alpine Bezirke
- Typ 2: Bezirke im Mittelland
- Typ 3: Bezirke im Jura

Bei den Gemeinden ist die Unterteilung wie folgt:

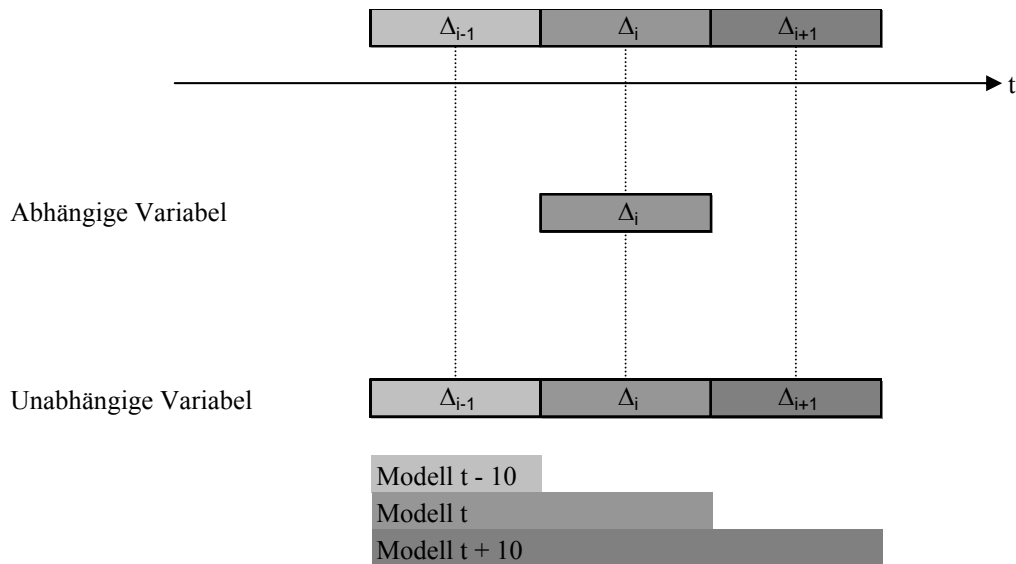
- Typ 1: Grosszentren  
Nebenzentren der grossen Agglomerationen  
Zentren mittlerer/ kleinen Agglomerationen  
Kleinzentren
- Typ 2: 1. Gürtel grosser Agglomerationen  
2. Gürtel grosser Agglomerationen  
1. Gürtel mittlerer/ kleiner Agglomerationen  
2. Gürtel mittlerer/ kleiner Agglomerationen  
Wegpendlergemeinden
- Typ 3: Industrielle Gemeinden  
Semiagrare Gemeinden  
Agrarische Gemeinden  
Touristische Gemeinden

Die Differenzierung in SPSS erfolgt mittels zwei so genannten „Dummy-Variablen“  $u$  und  $v$ .

#### 4.2.4 Unabhängige Variablen

Bei den Analysen wurden jeweils drei verschiedene Modelle für die Zusammensetzung der unabhängigen Variablen untersucht. Dabei liegt der Unterschied jeweils in der Anzahl der gewählten Zeitpunkte bzw. Perioden, mit welchen die Variablen in die Berechnung eingegeben werden. Die drei Modelle setzen sich wie folgt zusammen:

Abbildung 13 Modelle der unabhängigen Variablen



Beim Modell t - 10 wird versucht, die gesuchte abhängige Variable ganz mit Daten aus der vorausgehenden Periode beschreiben zu können, beim Modell t werden Daten bis und mit der gesuchten Periode verwendet und bei t + 10 wird sogar eine Periode weiter nach vorne geschaut.

In Tabelle 6 sind die für die Berechnung verwendeten Variablen aufgelistet, wobei die Graustufen wiederum für die drei Modelle t - 10, t bzw. t + 10 stehen und auch im Folgenden der Arbeit wieder für die gleiche Klassifizierung stehen.

Tabelle 6 Variablen für Regression

| Variable    | Name                           | Abkürzung | Periode |   |        |
|-------------|--------------------------------|-----------|---------|---|--------|
|             |                                |           | t - 10  | t | t + 10 |
| Abhängige   | Wohnbevölkerung                | Bev       |         |   |        |
| Unabhängige | Erreichbarkeit                 | Err       |         |   |        |
|             | Rang Erreichbarkeit            | RErr      |         |   |        |
|             | Wohnbevölkerung                | Bev       |         |   |        |
|             | Erreichbarkeit pro Person      | EpP       |         |   |        |
|             | Rang Erreichbarkeit pro Person | REpP      |         |   |        |
|             | Kosten Neubau Nationalstrassen | KNS       |         |   |        |

Für die Erreichbarkeit pro Person sowie den Rang der Erreichbarkeit pro Person können nur die vom Zeitpunkt  $t - 10$  verwendet werden, da für die späteren Perioden die gesuchte Wohnbevölkerung einen direkten Einfluss auf diese beiden Variablen hat.

#### 4.2.5 Multiple lineare Regression mit zeitabhängigen Koeffizienten

Um eine eventuelle zeitliche Veränderung der Regressionskoeffizienten  $b_i$  modellieren zu können, wurden in einem weiteren Schritt die Regressionskoeffizienten wie folgt definiert:

$$b_i(t) = k_i + q_i \cdot t$$

$b_i(t)$ : zeitlich variabler Korrelationskoeffizient

$k_i$ : konstanter Anteil von  $b_i(t)$

$q_i$ : Veränderung von  $b_i(t)$  pro Jahr

Daraus ergibt sich die folgende Regressionsgleichung:

$$y_t = b_0(t) + b_1(t) \cdot x_{1,t} + b_2(t) \cdot x_{2,t} + \dots + b_n(t) \cdot x_{n,t} + u_t$$

$$\Delta y_{(t,t+t_0)} = b_0(t) + b_1(t) \cdot \Delta x_{1,(t,t+t_0)} + b_2(t) \cdot \Delta x_{2,(t,t+t_0)} + \dots + b_n(t) \cdot \Delta x_{n,(t,t+t_0)} + u_{t,t+t_0}$$

## 5 Untersuchungsergebnisse

### 5.1 Entwicklung Bevölkerung

Bei der räumlichen Verteilung der Bevölkerungsentwicklung in der Schweiz (Abb. 14) ist ersichtlich, dass zu Beginn des betrachteten Zeitraums vor allem in der Region Zürich sowie um die Städte Genf, Lausanne, Biel und Basel überdurchschnittlich hohe Entwicklung stattfand. Nach Tschopp/ Sieber/ Keller/ Axhausen (2002) ist dies mit der Konzentration der Bevölkerung in den Kernstädten zu erklären, welche in der Schweiz bereits um 1850 begann und bis 1960 anhielt, bevor sie von der Suburbanisierung abgelöst wurde.

Den kleinsten Bevölkerungszuwachs zwischen 1950 und 1960 hatten die alpinen Regionen, die Ostschweiz sowie ein Grossteil der Romandie (Lausanne und Genf ausgenommen).

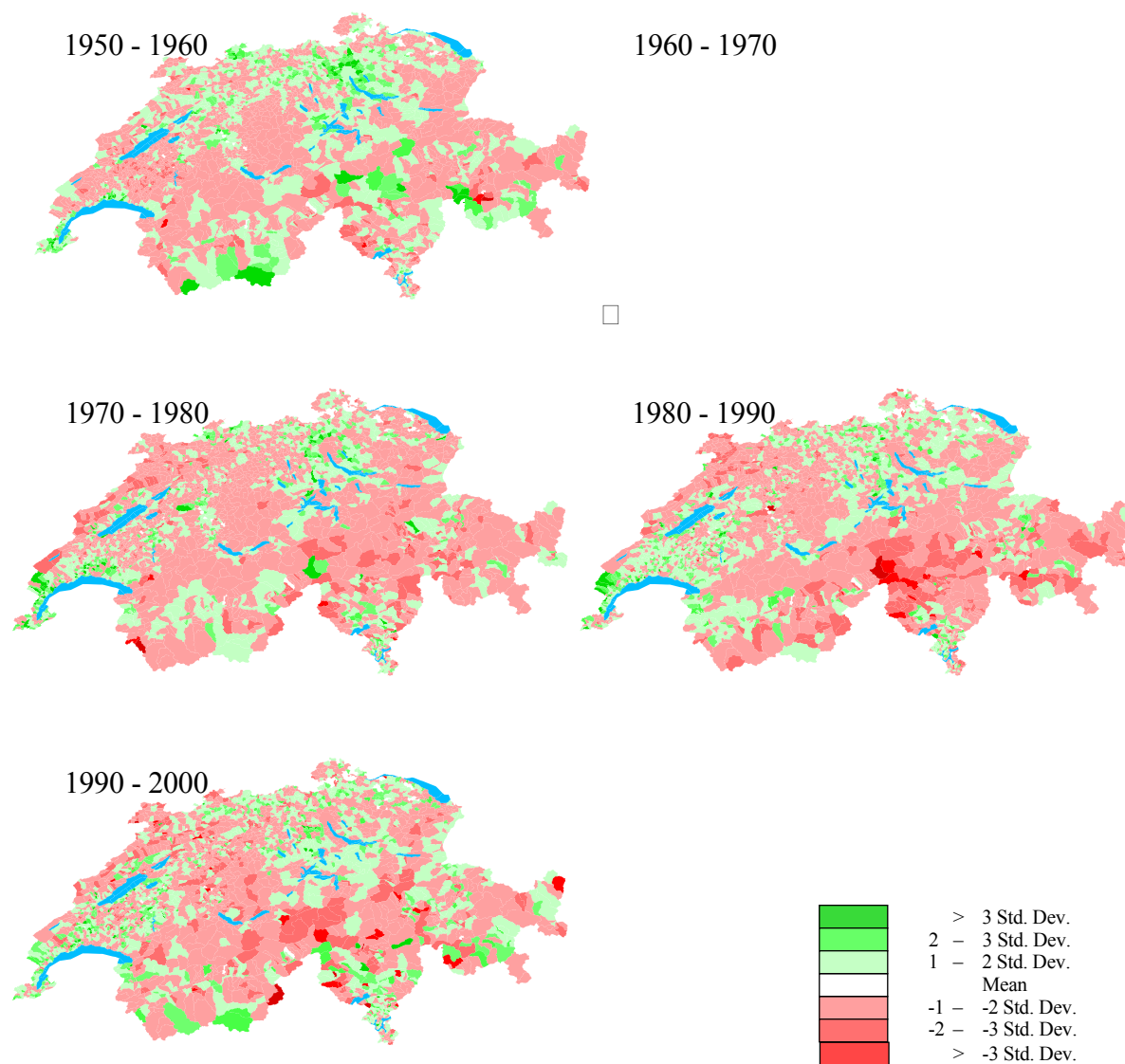
In der folgenden Dekade änderte sich die oben beschriebene Verteilung kaum, ausser dass sich um den Genfersee bereits 1960 ein Gürtel mit hoher Bevölkerungsentwicklung zu bilden beginnt. Dieser Trend verstärkt sich zwischen 1970 und 1980, bis dann ab 1980 beinahe die ganze Romandie überdurchschnittlich hohe Bevölkerungsentwicklung hat.

Ebenfalls ersichtlich ist, wie ab 1960 die Stadt Zürich unterdurchschnittlichen Bevölkerungszuwachs hat, und wie sich diese rote Zone mit den Jahren nach aussen erweitert. Am Ende des betrachteten Zeitfensters erhalten sowohl Zürich, die umliegenden Gemeinden sowie die Ufergemeinden des unteren Zürichsees tiefen Zuwachs. Die grüne Zone dagegen hat sich allmählich Richtung Zentralschweiz verlagert.

Gegen Ende des letzten Jahrzehnts ist auffallend, dass kaum mehr ganze Regionen von überdurchschnittlichem Zuwachs zu finden sind. Die Ausnahme ist der Kanton Schwyz. Ansonsten sind hoher und tiefer Zuwachs über die ganze Schweiz verteilt.



Abbildung 14 Räumliche Verteilung der Bevölkerungsentwicklung (Standardabweichung)

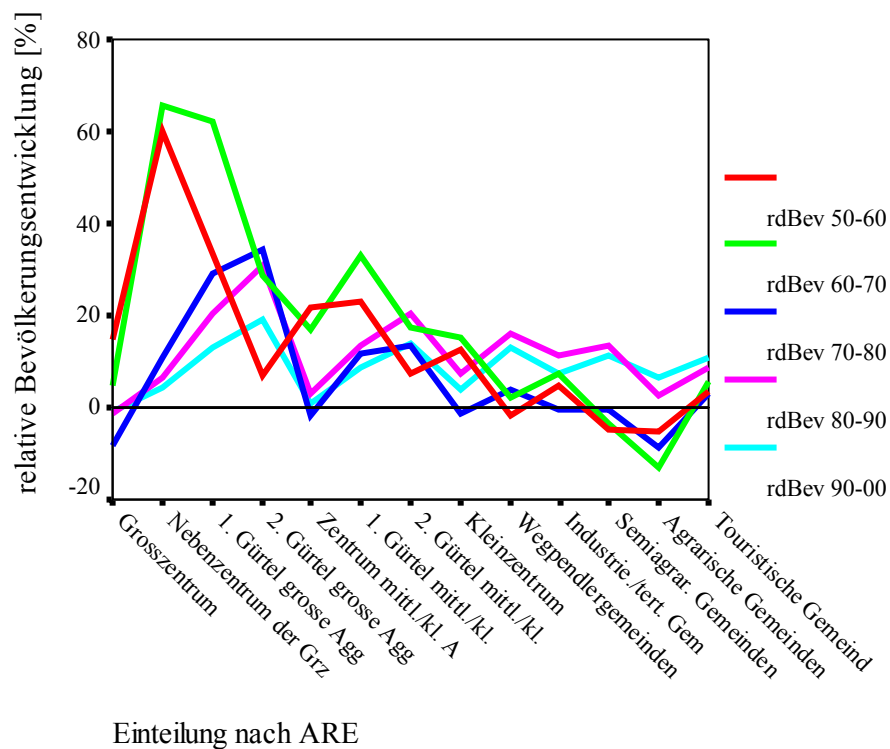


Um genauer untersuchen zu können, welche Gemeindetypen besonders grossen Bevölkerungszuwachs hatten, wurden die Gemeinden in 13 Klassen unterteilt<sup>9</sup>. Die Unterteilung wurde gemäss Definition von ARE gemacht. Da die Einteilung anhand der Volkszählung von 1990 gemacht wurde, sind mögliche Typenzugehörigkeitsänderungen einzelner Gemeinden innerhalb der untersuchten 50 Jahre nicht auszuschliessen. Eine Gemeinde, welche 1990 einem Typ zu-

<sup>9</sup> Die Gemeindetypologie stellt im Gegensatz zu allen anderen Raumgliederungen keine zusammenhängende Gebiete dar, sondern ist eine Klassifikation ähnlicher Einheiten.

geteilt wurde, muss also nicht zwingend während der ganzen Periode dem gleichen Typ zugehört haben.

Abbildung 15 relative Bevölkerungsentwicklung (nach Gemeindentypen ARE, 1990)



Auffallend ist, dass Gemeinden, welche zwischen 1950 und 1960 einen sehr hohen relativen Zuwachs hatten, zwischen 1990 und 2000 höchstens noch im Durchschnitt liegen oder sogar deutlich darunter sind. Für Gemeinden mit anfänglich kleiner Entwicklung haben dagegen nun einen überdurchschnittlichen Wert. Vor allem Nebenzentren sowie der 1. Gürtel der Grosszentren erlitten grosse Einbussen an Zuwachs. Zu den Gewinnern dagegen zählen Wegpendlergemeinden, semi- sowie agrarische Gemeinden, wobei die letzteren zunächst sogar von Bevölkerungsabwanderung betroffen waren. Die Bevölkerung der Schweiz, welche sich bis 1960 vorwiegend in und um die grossen Zentren der Schweiz sammelte, zieht folglich nun mehrheitlich in ländliche Gemeinden. Dies kommt daher, dass Zentrumsgemeinden sowie die Gürtelgemeinden oft nicht mehr Wohnraum für eine Fortsetzung der hohen Zuwachsrates haben, sowie dass durch die Verbesserung des Verkehrsnetzes der Raumwiderstand verkleinert wurde und so eine grössere Distanz zwischen Wohnen und Arbeiten in der gleichen Zeit zurückgelegt werden kann.

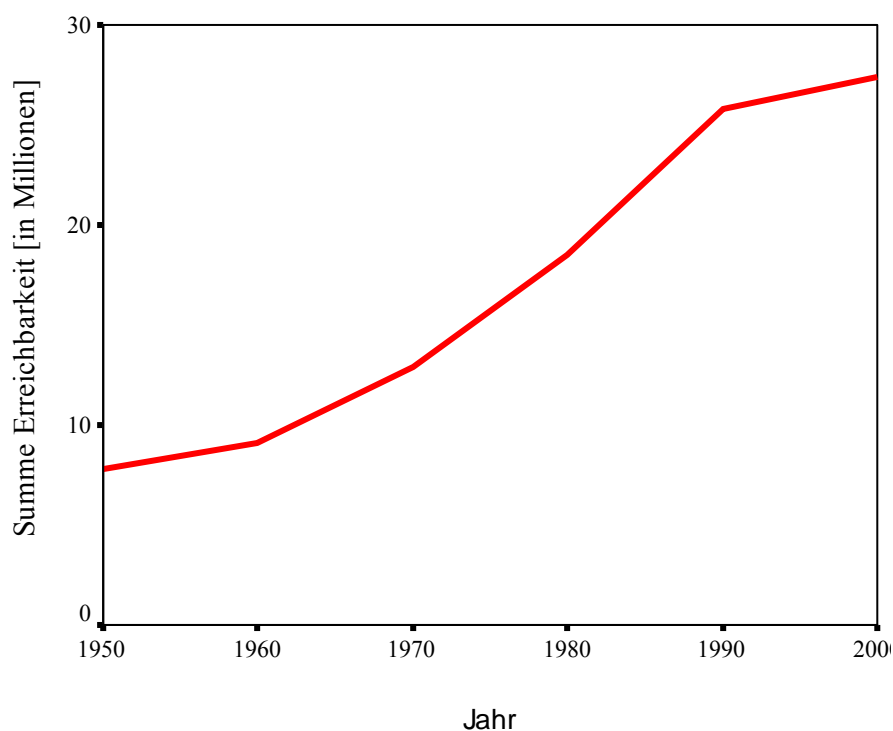
Ebenfalls auffallend ist, dass die stark inhomogene Verteilung der Entwicklung von 1950 – 1960 bzw. 1960 – 1970 (+ 65 % bis – 5 %, bzw. +65 % bis -15 %) sich in den folgenden Jahrzehnten in eine beinahe gleichmässige Verteilung (+ 20 % bis 0 %) änderte.

Infolge der grossen Unterschiede in der Bevölkerungsentwicklung werden die Gemeinden sowie die Bezirke bei der Zeitreihenanalyse in je drei Typen Unterteilt (siehe Kapitel 4.2.3)

## 5.2 Entwicklung Erreichbarkeit 1950 – 2000

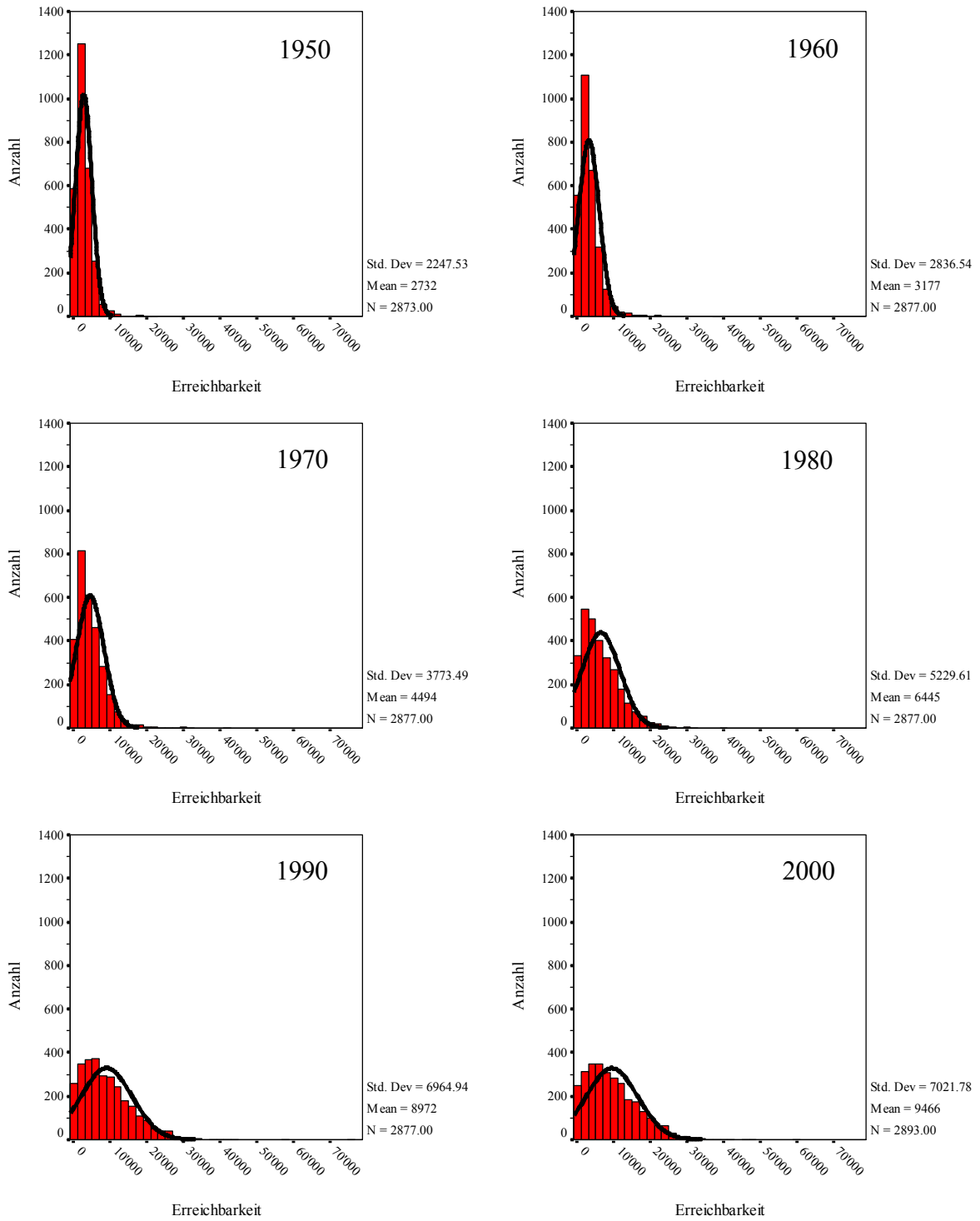
Im betrachteten Zeitfenster von 1950 bis 2000 hat sich die Summe der Erreichbarkeit aller Gemeinden für die ganze Schweiz mehr als verdreifacht, während die Wohnbevölkerung in derselben Zeit um 55 % zunahm. Vor allem seit dem Beginn der Nationalstrassen ist ein markanter Anstieg der Erreichbarkeitsentwicklung festzustellen, welcher bis 1990 stets zunahm. Zwischen 1990 und 2000 jedoch war die Zunahme der Erreichbarkeit betragsmässig wieder etwa gleich wie zwischen 1950 und 1960.

Abbildung 16 Summe der Erreichbarkeit für die ganze Schweiz



Neben der Summe der Erreichbarkeit nahmen auch der Mittelwert sowie die Standardabweichung stets zu (vgl. Abb. 17). Jedoch ist wie bei der Summe der Erreichbarkeit, der Trend der Zunahme ebenfalls abklingend.

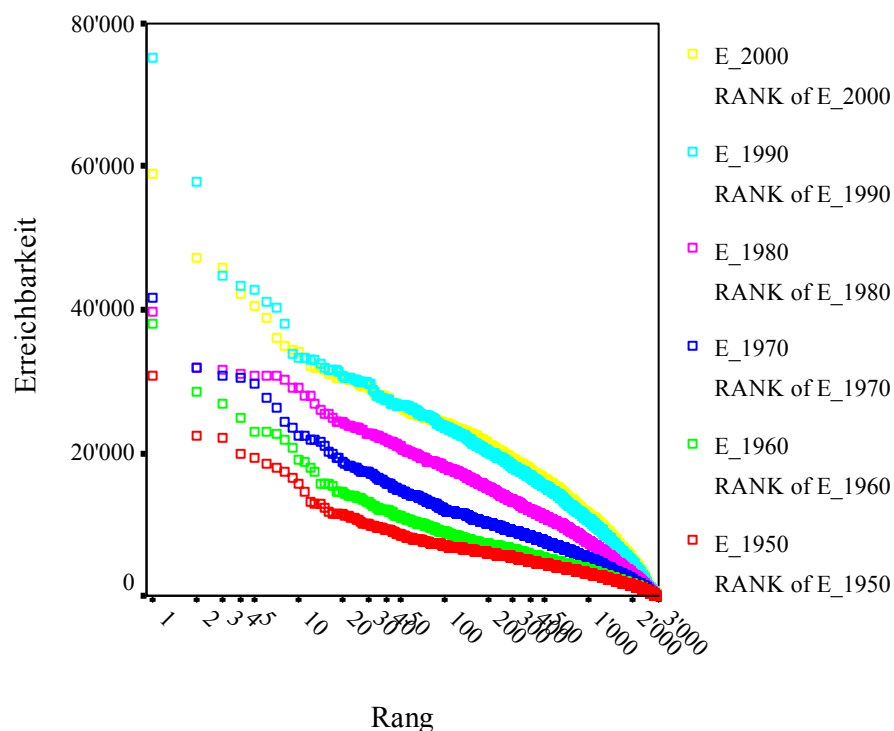
Abbildung 17 Histogramme der Erreichbarkeit für 1950 – 2000 (Gemeinden)



Vergleicht man die Erreichbarkeit-Rang-Kurven miteinander, so ist ersichtlich, dass vor allem die vorderen Ränge grosse Erreichbarkeits sprünge hatten. Die hinteren Ränge der Verteilung, welche bereits 1950 niedrige Erreichbarkeitswerte aufwiesen, blieben dagegen beinahe auf dem gleichen Wert.

Die grössten Differenzen fanden in den Perioden 1970 – 1980 sowie 1980 – 1990 statt. Die höheren Erreichbarkeitswerte sind vor allem auf die Verbesserung des Verkehrsnetzes zurückzuführen. Da sich die Wohnbevölkerung ab 1960 nicht mehr nur um die Zentren konzentriert sondern immer mehr auch zwischen den Zentren verteilt (siehe Kapitel 5.1) ist ein Zuwachs der Erreichbarkeit infolge der geänderten Siedlungsstruktur auszuschliessen. Denn falls die Wohnbevölkerung konzentriert in Grosstädten wohnt, ist die Summe der Erreichbarkeit höher, als wenn sie homogen über eine Fläche verteilt ist.

Abbildung 18 Rang – Erreichbarkeit Kurve (Gemeinden)

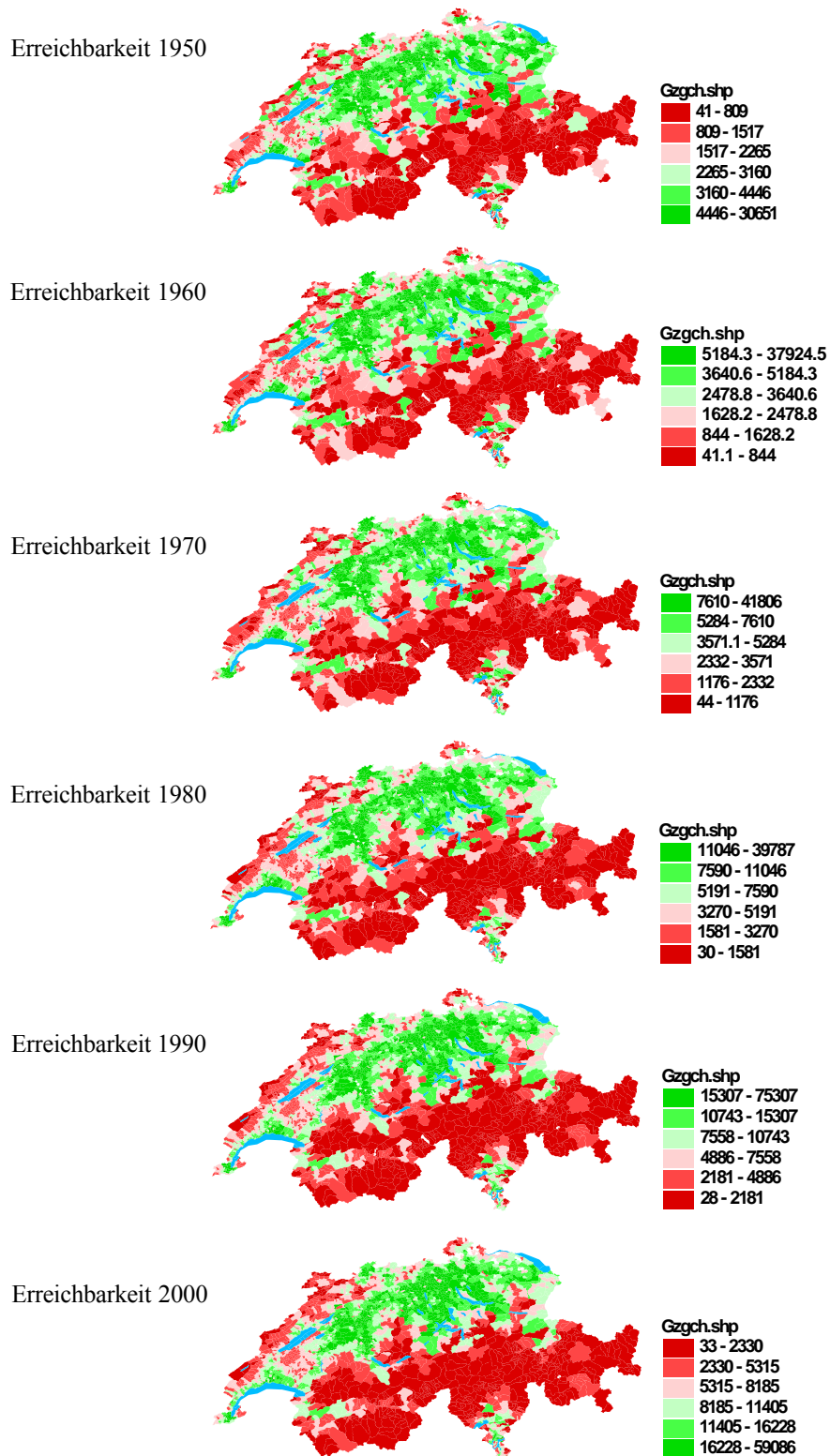


In Abbildung 19 ist die Erreichbarkeit pro Gemeinde für die Schweiz dargestellt. Es ist ersichtlich, dass bereits 1950 auf der Ost-West-Achse zwischen der Bodenseeregion und Bern ein breiter Gürtel mit hoher Erreichbarkeit vorhanden ist. Diese ist vor allem auf die hohe Bevölkerungskonzentration in diesen Gebieten zurückzuführen. Jedoch sind in Gebieten mit niedriger Erreichbarkeit noch einige isolierte Spitzen mit hoher Erreichbarkeit auszumachen. So ist z.B. die Erreichbarkeit direkt um die Städte Genf, Lausanne oder Montreux deutlich höher als in den Gebieten zwischen diesen drei Städten. Grund dafür ist der hohe Anteil der Eigenerreichbarkeit.

In den folgenden 50 Jahren hat sich die eigentliche Struktur der Erreichbarkeitsverteilung nicht stark geändert, jedoch sind doch einige interessante Differenzen erkennbar:

- Die Lücken zwischen den Spitzen der Erreichbarkeitsverteilung wurden teilweise geschlossen. Zwischen Genf und Montreux entstand z.B. entlang des Genfersees ein Band mit hoher Erreichbarkeit.
- Zwischen Luzern, Zürich, Winterthur und Aarau entstand ein Gebiet mit beinahe durchgehend sehr hoher Erreichbarkeit.
- Gab es 1950 noch einige Gemeinden entlang des Juras, so gibt es dort kaum mehr überdurchschnittliche Erreichbarkeiten.

Abbildung 19 Erreichbarkeit pro Gemeinde, Quantile (1950, 1960, 1970, 1980, 1990 und 2000)

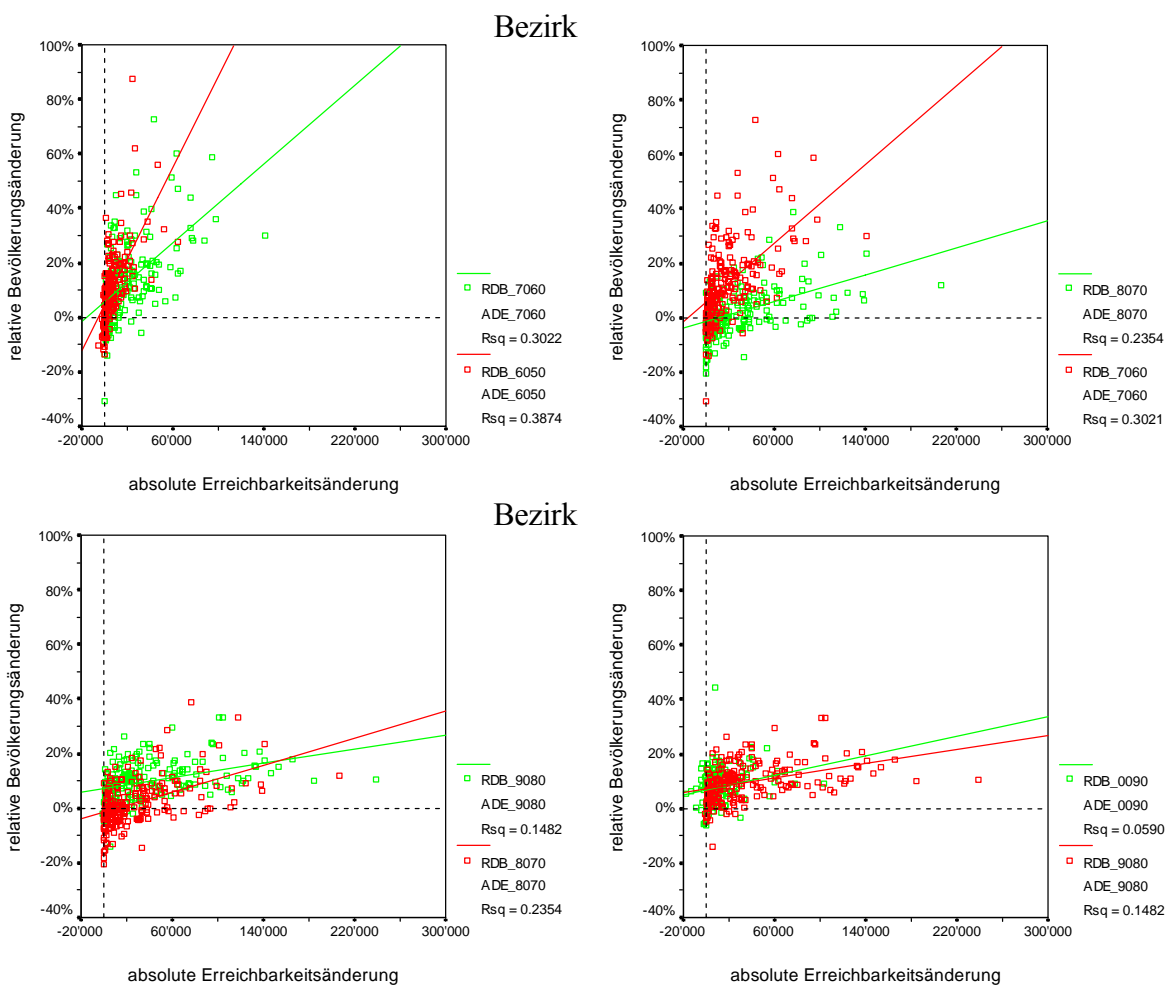


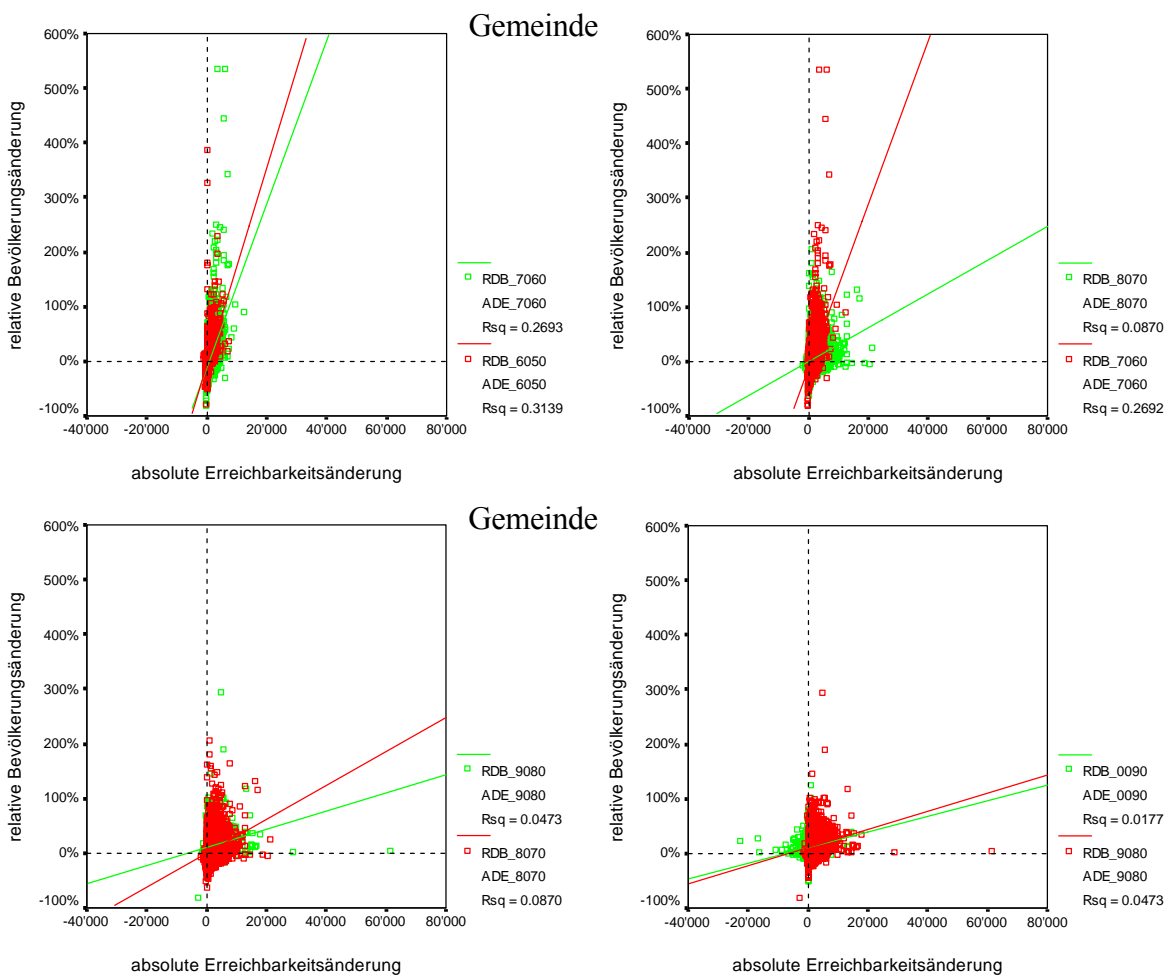


### 5.3 Wechselwirkungen

Wie in Kapitel 1 beschrieben wird in bisherigen Modellen der Verkehrs- und Raumplanung angenommen, dass eine Zunahme der Erreichbarkeit die Bevölkerungsentwicklung positiv beeinflusst. In Abbildung 20 ist die absolute Erreichbarkeitsentwicklung ( $\Delta Err$ ) und die relative Bevölkerungsentwicklung ( $r\Delta Bev$ ) innerhalb 10 Jahren dargestellt, wobei Rot jeweils für die Periode  $\Delta_{t-1}$ , Grün dagegen für die folgende Periode  $\Delta_t$  steht.

Abbildung 20 Scatterplots  $a\Delta Err$  vs.  $r\Delta Bev$





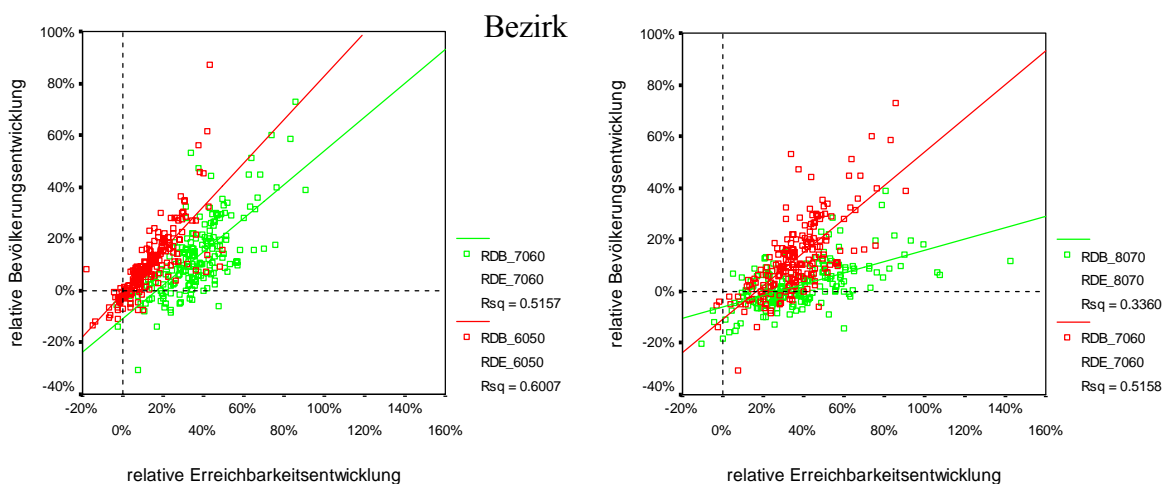
Die Steigung der Regressionsgerade (lineare Regression) zeigt, wie stark die Bevölkerung auf eine Erreichbarkeitsverbesserung reagiert: Je steiler die Regressionsgerade liegt, desto grösser ist  $r\Delta Bev$  bei einem  $\Delta Err$ . Sowohl bei der Analyse der Beziehungen auf Bezirks- als auch auf Gemeindeebene ist ein deutlich abnehmender Trend zwischen 1950 bis 1990 der Steigungen der Regressionsgeraden erkennbar ist (vgl. Tab. 7). Seit 1990 blieb die Steigung jedoch etwa stabil, resp. nahm auf Bezirksebene sogar wieder etwas zu.

Neben der Steigung sinkt das Bestimmtheitsmass der Regressionsgeraden ebenfalls kontinuierlich. Daraus lässt sich schliessen, dass die Bevölkerungsentwicklung im betrachteten Zeitfenster immer weniger durch die absolute Erreichbarkeitsdifferenz beschrieben werden kann.

Tabelle 7 Regressionsgeraden  $a\Delta\text{Err} - r\Delta\text{Bev}$  und  $a\Delta\text{Err} - r\Delta\text{Bev}$  ( $r\Delta\text{Bev} = b_0 + b_1 * a\Delta\text{Err}$ )

| Zone     | Periode     | R <sup>2</sup> | F      | Sigf. | b0    | b1      |
|----------|-------------|----------------|--------|-------|-------|---------|
| Gemeinde | 1950 - 1960 | 0.314          | 1313.6 | 0.000 | -3.13 | 0.0180  |
|          | 1960 - 1970 | 0.269          | 1059.3 | 0.000 | -9.42 | 0.0150  |
|          | 1970 - 1980 | 0.087          | 273.8  | 0.000 | 0.22  | 0.0031  |
|          | 1980 - 1990 | 0.047          | 142.8  | 0.000 | 10.18 | 0.0017  |
|          | 1990 - 2000 | 0.018          | 51.85  | 0.000 | 10.34 | 0.0014  |
| Bezirk   | 1950 - 1960 | 0.387          | 115.11 | 0.000 | 4.66  | 0.0008  |
|          | 1960 - 1970 | 0.302          | 79.20  | 0.000 | 5.57  | 0.0004  |
|          | 1970 - 1980 | 0.235          | 56.33  | 0.000 | -1.53 | 0.0001  |
|          | 1980 - 1990 | 0.148          | 31.83  | 0.000 | 7.27  | 6.5E-05 |
|          | 1990 - 2000 | 0.059          | 11.48  | 0.001 | 6.89  | 9.0E-05 |

Wird die relative Bevölkerungsentwicklung mit der relativen Entwicklung der Erreichbarkeit verglichen, so ist ebenfalls eine Abnahme der Steigung der Regressionsgeraden erkennbar. Jedoch stabilisiert sich der Trend bereits ab der Periode 1970 – 1980.

Abbildung 21 Scatterplots  $r\Delta\text{ERR}$  vs.  $r\Delta\text{Bev}$ 

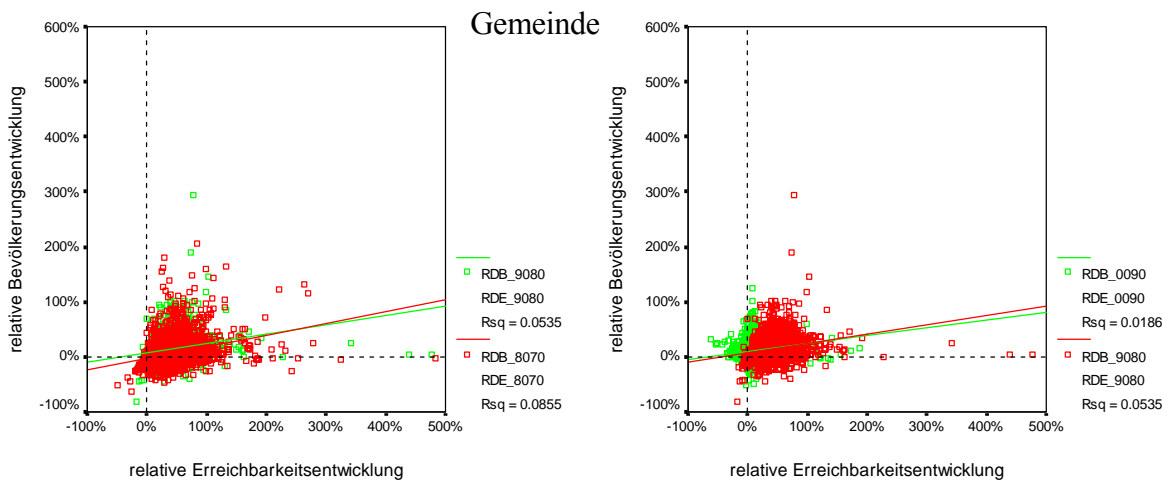
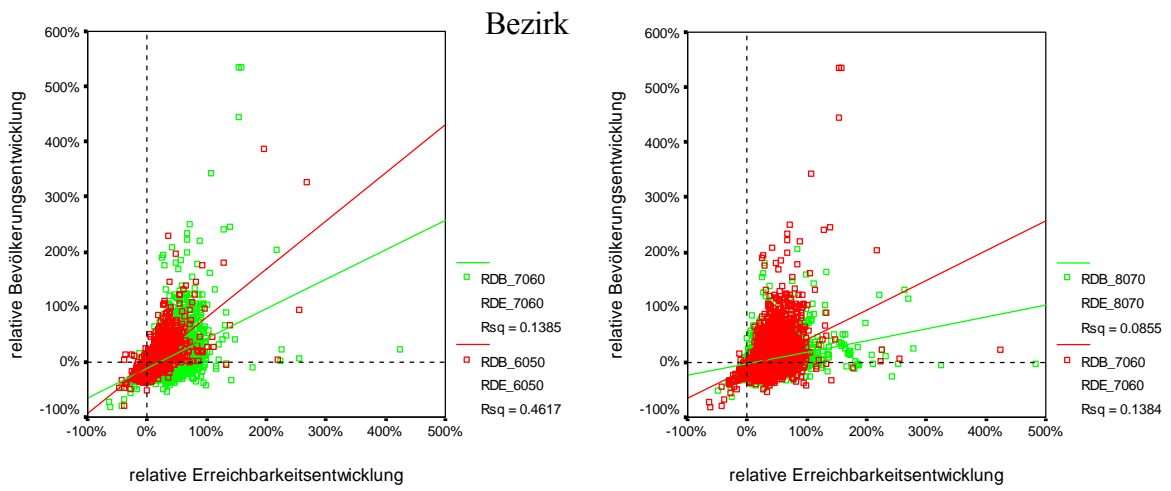
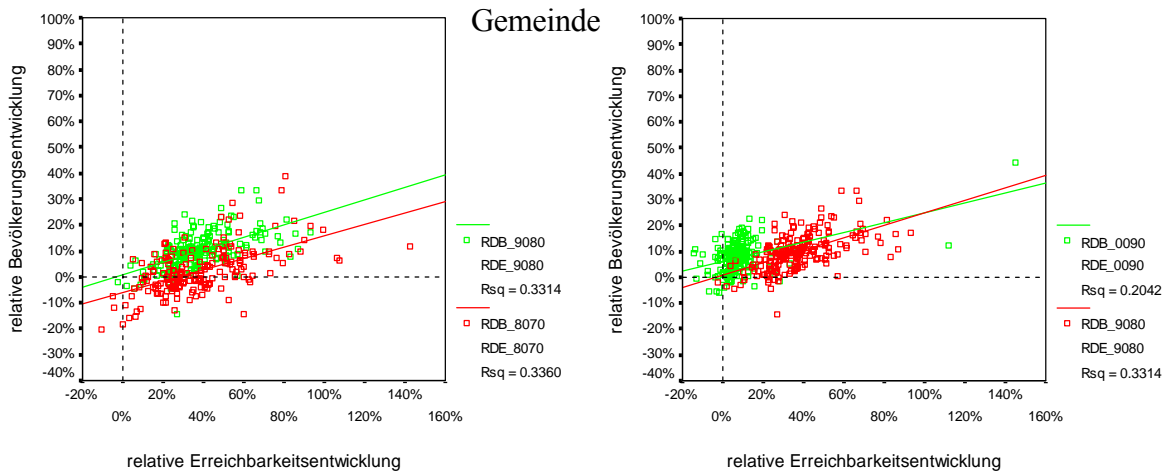
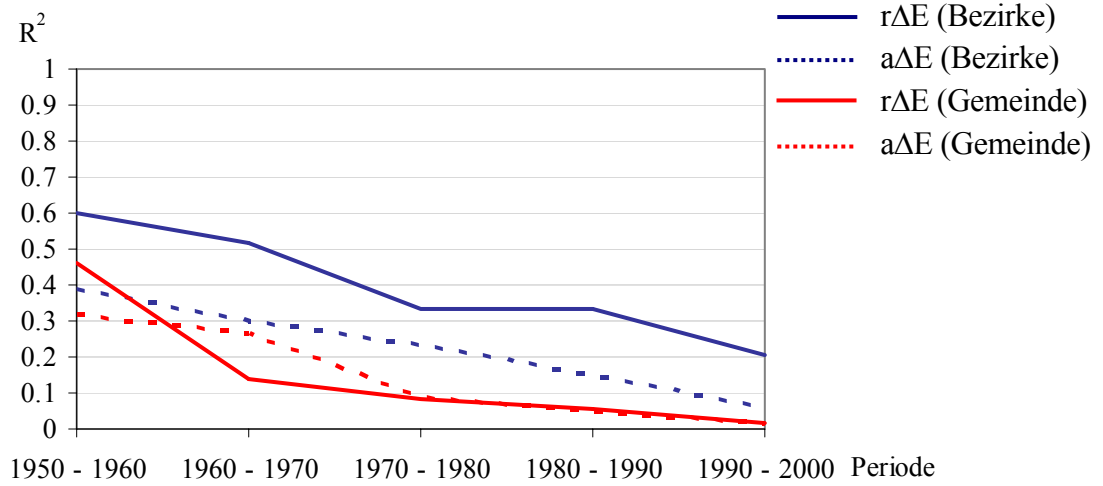


Tabelle 8 Regressionsgeraden  $r\Delta\text{Err} - r\Delta\text{Bev}$  und  $r\Delta\text{Err} - r\Delta\text{Bev}$  ( $r\Delta\text{Bev} = b_0 + b_1 * r\Delta\text{Err}$ )

| Zone     | Periode     | R <sup>2</sup> | F      | Sigf. | b0     | b1     |
|----------|-------------|----------------|--------|-------|--------|--------|
| Gemeinde | 1950 - 1960 | 0.462          | 2462.1 | 0.000 | -5.55  | 0.8749 |
|          | 1960 - 1970 | 0.138          | 461.6  | 0.000 | -12.15 | 0.5399 |
|          | 1970 - 1980 | 0.086          | 268.93 | 0.000 | -2.85  | 0.2118 |
|          | 1980 - 1990 | 0.054          | 162.63 | 0.000 | 7.08   | 0.1691 |
|          | 1990 - 2000 | 0.019          | 54.53  | 0.000 | 9.93   | 0.1412 |
| Bezirk   | 1950 - 1960 | 0.601          | 273.80 | 0.000 | -1.15  | 0.8366 |
|          | 1960 - 1970 | 0.516          | 194.93 | 0.000 | -10.86 | 0.6494 |
|          | 1970 - 1980 | 0.336          | 92.61  | 0.000 | -6.16  | 0.2195 |
|          | 1980 - 1990 | 0.331          | 90.72  | 0.000 | 0.73   | 0.2420 |
|          | 1990 - 2000 | 0.204          | 46.95  | 0.000 | 6.15   | 0.1879 |

Vergleicht man die Korrelationskoeffizienten  $R^2$  aus Tabelle 7 mit jenen aus der Tabelle 8 so ist ersichtlich, dass der Bevölkerungszuwachs bei der Analyse auf Bezirksebene besser mit der relativen als mit der absoluten Erreichbarkeitsentwicklung durch eine Gerade modelliert werden kann (vgl. Abb. 22). Für die Gemeinden liegt der Koeffizient allgemein tiefer als auf Bezirksebene, was dadurch erklärt werden kann, dass auf Gemeindeebene Kriterien die Entwicklung der Bevölkerung positiv oder negativ beeinflussen, die auf Bezirksebene nicht wesentlich sind. Da auf Gemeindeebene in der letzten Dekade  $R^2$  knapp unter 2 % liegt, kann sogar kaum mehr von einer Abhängigkeit zwischen der Bevölkerungsentwicklung und der Erreichbarkeitsentwicklung gesprochen werden.

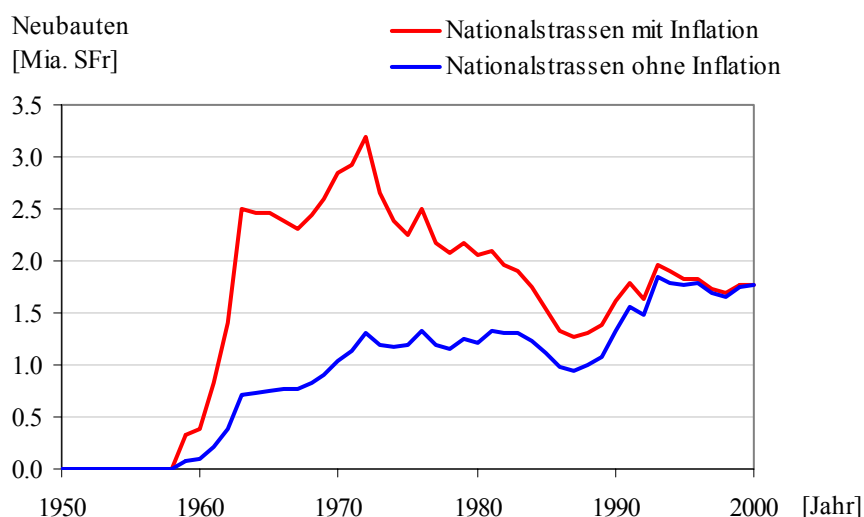
Abbildung 22 Korrelationskoeffizient



## 5.4 Investitionen für Erreichbarkeitsverbesserung

Seit dem Beginn des Nationalstrassenbaus im Jahr 1959 sind in der Schweiz bis 2000 für Neubauten des Nationalstrassennetzes 81.4 Mia. SFr ausgegeben worden. Absolut waren die Investitionen ab dem Jahr 1993 am höchsten, als pro Jahr zwischen 1.63 und 1.84 Milliarden SFr für Neubauten des Nationalstrassennetzes ausgegeben wurden. Werden die Kosten jedoch inflationsbereinigt (Jahr 2000 = 100%), so waren die maximalen Investitionen im Jahr 1972 mit 3.18 Milliarden SFr erreicht (vgl. Abb. 23).

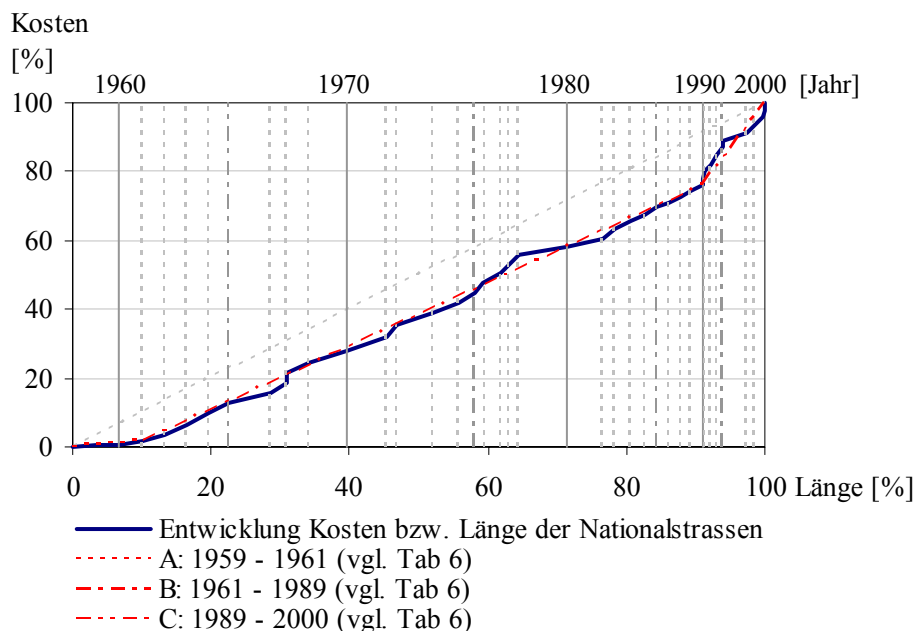
Abbildung 23 Kosten für Neubauten pro Jahr [mit bzw. ohne Inflation]



Quelle:

Da zu Beginn des Nationalstrassenbaus zunächst Abschnitte gebaut wurden, welche keine teuren Spezialbauten benötigten (z. B. keine lange Tunneln) konnten die ersten Abschnitte des Nationalstrassennetzes schon bald mit relativ tiefen Kosten eröffnet werden. So waren von 1959 bis 1973 bereits etwas mehr als 50 % des Nationalstrassennetzes von 2000 in Betrieb, jedoch erst 39 % der total bis ins Jahr 2000 investierten Kosten verwendet (vgl. Abb. 24).

Abbildung 24 Neubaukosten pro km



Die Neubaukosten für einen Kilometer Nationalstrasse betrug zwischen 1961 und 1989 mehr oder weniger konstant durchschnittlich 45 Mia. SFr. Zwischen 1974 und 1979 (Bauzeit Gotthard Strassentunnel) stiegen die Kosten kurzzeitig an, jedoch konnten durch die Eröffnung grosser Streckenabschnitte in den Jahren 1980 und 1981 die Kosten wieder gesenkt werden. Ab 1989 gab es jedoch einen markanten Anstieg der Neubaukosten auf beinahe den dreifachen Wert. So wurden für die zuletzt Eröffneten 9 % des Nationalstrassennetzes 24 % der Kosten ausgegeben. Jedoch sind die letzten Jahre dieses Diagramms mit Vorsicht zu betrachten, da in den letzten Jahren bereits Kosten für Streckenabschnitte, die erst eröffnet werden, entstanden.

Tabelle 9 Neubaukosten pro Kilometer Nationalstrasse

| Periode | Periode von ... bis | Kosten [Mia. SFr] | $\Delta$ Länge [km] | Kosten pro km [Mio. SFr/km] |
|---------|---------------------|-------------------|---------------------|-----------------------------|
| A       | 1959 1961           | 1'526             | 167                 | 9.1                         |
| B       | 1961 1989           | 60'346            | 1328                | 45.4                        |
| C       | 1989 2000           | 19'532            | 147                 | 132.8                       |

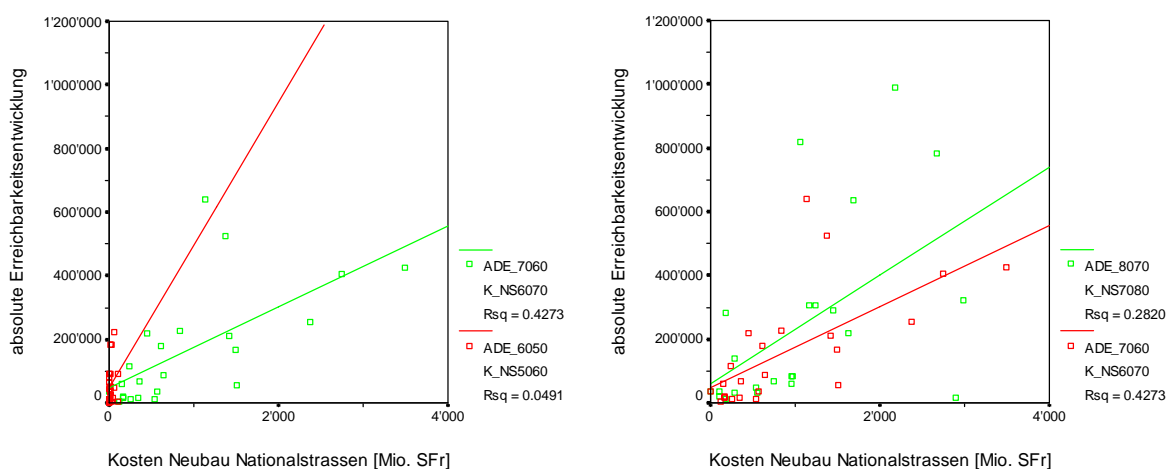


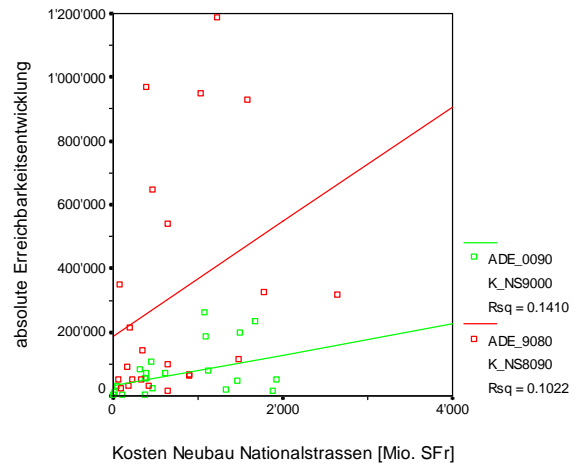
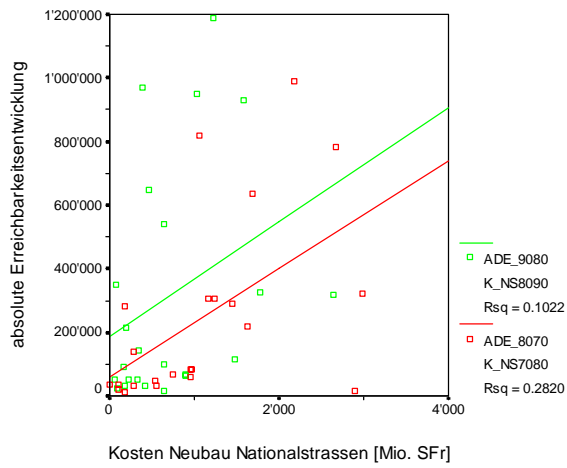
Werden die Entwicklung der Erreichbarkeit mit den Neubaukosten für die Nationalstrassen in einem Scatter-Plot miteinander verglichen (Abb. 25), so ist ersichtlich, dass sich die Steigung der Regressionsgerade seit dem Baubeginn der Nationalstrassen in 1959 zunächst vergrössert hat. Dieser Trend hält an bis zur Periode von 1980 – 1990. In den nächsten zehn Jahren ist jedoch eine markante Abnahme der Steigung ersichtlich. Zwar nahmen sowohl die Kosten als auch die Erreichbarkeitsentwicklung markant ab, jedoch ist der Einfluss des Investitionsrückganges kleiner als jener der Erreichbarkeitsentwicklung.

Diese Abnahme kommt unter anderem daher, dass immer teurere Spezialbauten notwendig wurden um die gesellschaftlichen Ansprüchen befriedigen zu können: So mussten z.B. immer öfter Varianten mit Überdeckung oder Wildübergängen für Autobahnen gewählt werden.

Eine weitere Erklärung, weshalb das Verhältnis von Erreichbarkeitsentwicklung zu Kosten zwischen 1990 und 2000 stark sank, ist, dass zu Beginn des Nationalstrassenbaus bis 1990 jene Strecken gebaut wurden, welche den grössten Nutzen erbrachten: Es wurden zunächst die grossen Agglomerationen des Mittellandes miteinander verbunden, so dass die Reisezeit wesentlich gekürzt werden konnte. Als dann das geplante Netz zu einem grossen Teil bestand, mussten die Lücken gefüllt werden: Es wurden Umfahrungen von Ortschaften gebaut auf welche bis jetzt verzichtet wurde. Oft benötigten diese Umfahrungen Tunnels, was die Kosten wesentlich in die Höhe trieb. Diese erbrachten zwar für die neu umfahrene Ortschaft einen wesentlich höheren Lebensstandard, für die allgemeine Erreichbarkeiten hatten sie jedoch einen kleinen Einfluss.

Abbildung 25 Scatterplots  $\Delta$ Kosten vs.  $\Delta$ Erreichbarkeit (auf Kantonebene)





## 5.5 Zeitreihenanalyse

Anhand einer (zunächst linearen) multiplen Regression wird in diesem Kapitel versucht die Entwicklung der Bevölkerungsentwicklung zu modellieren. Die ausführlichen Resultate der Analysen sind in Anhang B ersichtlich.

### 5.5.1 Multiple lineare Regression mit absoluten Werten

Bei den Regressionen mit absoluten (bzw. logarithmierten) Werten ist zunächst ersichtlich, dass der Korrelationskoeffizient  $R^2$  jeweils über 0.99 liegt (ausser bei den Bezirken, vgl. Tab. 10). Dieser sehr hohe Wert lässt sich dadurch erklären, dass die Aussagekraft dieses Modells sehr gering ist. Die Aussage der Regression ist die, dass Zonen mit grosser Wohnbevölkerung gross bleiben werden, resp. dass Zonen mit wenig Wohnbevölkerung nicht einen grossen absoluten Zuwachs haben werden.

Für die weiteren Untersuchungen wurden jedoch keine Regressionen mit absoluten (resp. logarithmierten) Werten gemacht, da bei einem Korrelationskoeffizient von über 0.99 kaum mehr Verbesserungen bzw. Erkenntnisse über verbesserte Modelle gemacht werden können. Die Untersuchungen beschränken sich deshalb auf Regressionen, bei denen Differenzen als Variablen betrachtet werden.

Tabelle 10 Beschriftung

| Modell          |                 | R         | R <sup>2</sup> | Adjusted R <sup>2</sup> | Std. Error of the Estimate |          |          |
|-----------------|-----------------|-----------|----------------|-------------------------|----------------------------|----------|----------|
| Kanton          | - absolut       | t+10      | 0.998          | 0.995                   | 0.995                      | 18671.97 |          |
|                 |                 | t         | 0.997          | 0.994                   | 0.994                      | 19701.60 |          |
|                 |                 | t-10      | 0.997          | 0.994                   | 0.994                      | 19701.60 |          |
|                 | - logarithmiert | t+10      | 0.998          | 0.997                   | 0.997                      | 0.06     |          |
|                 |                 | t         | 0.999          | 0.997                   | 0.997                      | 0.06     |          |
|                 |                 | t-10      | 0.999          | 0.997                   | 0.997                      | 0.06     |          |
|                 | Bezirk          | - absolut | t+10           | 0.812                   | 0.660                      | 0.659    | 28520.28 |
|                 |                 |           | t              | 0.839                   | 0.704                      | 0.703    | 25653.50 |
|                 |                 |           | t-10           | 0.827                   | 0.684                      | 0.683    | 26503.65 |
| - logarithmiert |                 | t+10      | 0.910          | 0.828                   | 0.827                      | 0.40     |          |
|                 |                 | t         | 0.923          | 0.852                   | 0.852                      | 0.36     |          |
|                 |                 | t-10      | 0.874          | 0.765                   | 0.764                      | 0.46     |          |
| Gemeinde        | - absolut       | t+10      | 0.997          | 0.993                   | 0.993                      | 859.24   |          |
|                 |                 | t         | 0.995          | 0.990                   | 0.990                      | 1040.15  |          |
|                 |                 | t-10      | 0.995          | 0.990                   | 0.990                      | 1046.08  |          |
|                 | - logarithmiert | t+10      | 0.993          | 0.986                   | 0.986                      | 0.16     |          |
|                 |                 | t         | 0.993          | 0.985                   | 0.985                      | 0.16     |          |
|                 |                 | t-10      | 0.992          | 0.983                   | 0.983                      | 0.17     |          |

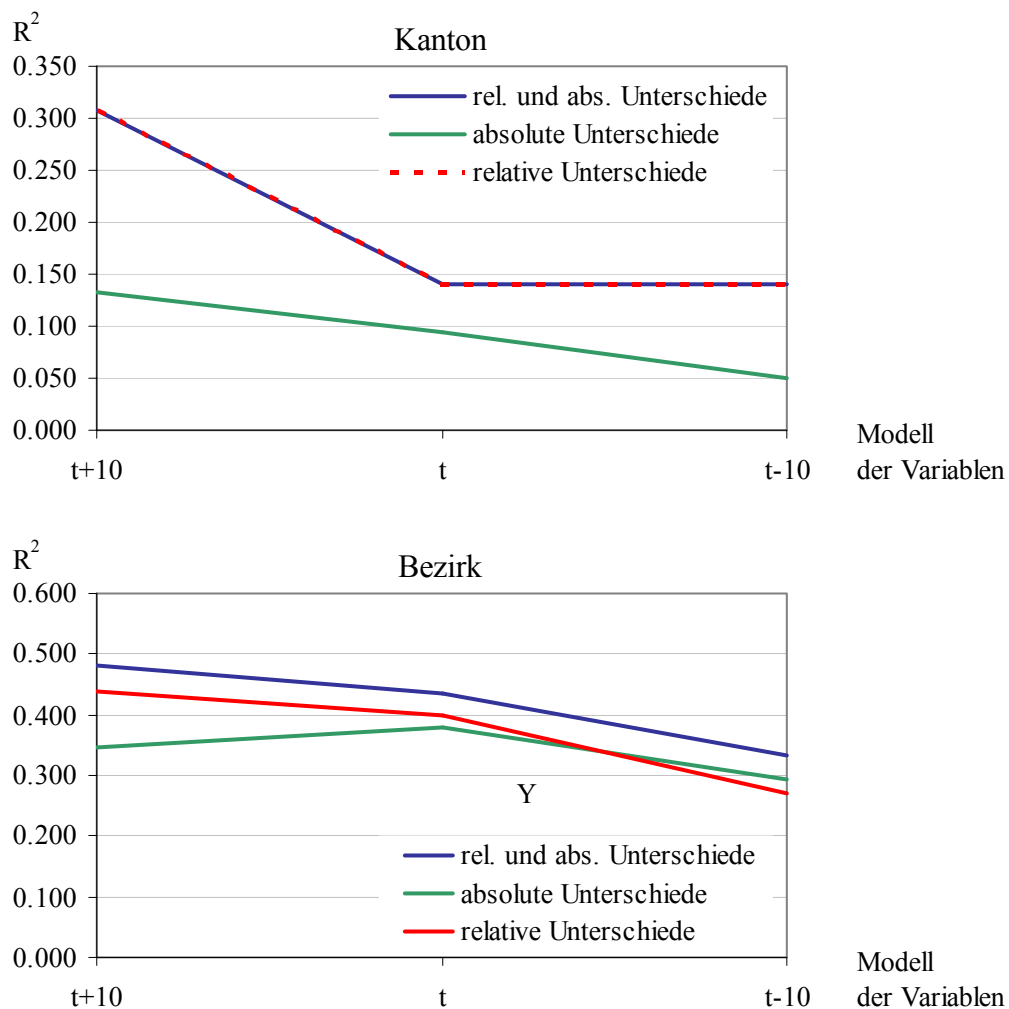
### 5.5.2 Multiple lineare Regression mit Differenzen

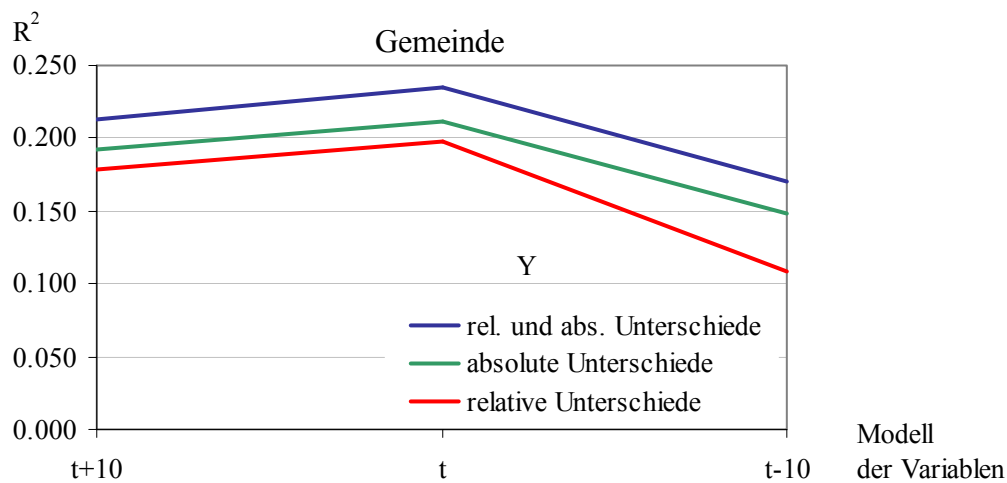
Für Kanton, Bezirk sowie Gemeinden wurden neben den drei Modelle t + 10, t bzw. t - 10 für die Variablen (vgl. Kap. 4.2.4) ebenfalls unterschieden, ob die relative Entwicklung der Wohnbevölkerung als abhängige Variable durch relative oder absolute Entwicklungen der exogenen Variablen beschreiben wurde<sup>10</sup>.

<sup>10</sup> Es wurde jeweils für die Wohnbevölkerung sowie für die Erreichbarkeit unterschieden, ob absolute Differenzen oder prozentuale Änderungen als Variablen gewählt wurden. Für die Restlichen Variablen wurden jeweils die absoluten Differenzen verwendet.

Abbildung 26 zeigt, dass in den Regressionen mit dem Modell  $t + 10$ , bei welchem die Erreichbarkeit (sowie die Neubaukosten der Nationalstrassen für die Kantone) 10 Jahre über die gesuchte Wohnbevölkerungsentwicklung hinausgeschätzt wird, nur bei den Kantonen eine deutliche Erhöhung des Bestimmtheitsmasses  $R^2$  verglichen mit dem Modell  $t$  erreicht werden kann.

Abbildung 26    Verwendete Variablen: nur relative, absolute bzw. Kombination von absoluten und relativen





Ob die Wohnbevölkerungsentwicklung besser mit den relativen oder den absoluten Entwicklungen der unabhängigen Variablen beschrieben werden kann, lässt sich nicht klar aussagen. Bei der Analyse auf Kantonebene wurde das beste Modell für  $r\Delta\text{Bev}$  durch relative Entwicklungen der unabhängigen Variablen erreicht, auf Gemeindeebene liegen dagegen die Werte für  $R^2$  stets wenig höher, falls die absoluten Differenzen genommen werden.

Wie in vorherigen Kapiteln bereits vermerkt wurde, zeigt Abbildung 26 wiederum, dass auf Gemeindeebene die kleinste Korrelation erreicht werden kann.

Werden die einzelnen Korrelationskoeffizienten miteinander verglichen, so fällt auf, dass die eingeführte Grösse Erreichbarkeit pro Person ( $\text{EpP}$ ) bei der Regression einen wesentlichen Einfluss hat. So wird die Variable  $\Delta\text{EpP}_{t-10}$  bei allen drei Modellen  $t + 10$ ,  $t$  und  $t - 10$  in die Regression aufgenommen, wobei die Koeffizienten jeweils signifikant auf dem 5 %-Niveau sind. Werden die standardisierten Koeffizienten der Regressionsgeraden verglichen, so ist ersichtlich, dass  $\Delta\text{EpP}_{t-10}$  einen massgebenden Effekt ausübt. Der Koeffizient für  $\Delta\text{EpP}_{t-10}$  ist jeweils negativ. Das heisst, dass Regionen, welche grosse Erreichbarkeitsverbesserungen, jedoch wenig Bevölkerungszuwachs in der letzten Periode hatten (also ein hohes  $\Delta\text{EpP}_{t-10}$ ), von dieser Variable Entwicklungshemmend beeinflusst werden. In Tab.11 sind als Beispiel die Regressionskoeffizienten für das Modell, dass sowohl relative als auch absolute Differenzen der vorausgehenden Periode für die Schätzung verwendet werden.

Tabelle 11 Beschriftung

| Variable                      | Nicht standardisierte Koeffizienten |                 |                    |          |        |
|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------|--------------------|----------|--------|
|                               | B                                   | Std.-Abweichung | Standardisiertes B | t        | Sign.  |
| Konstante                     | 9.30                                | 0.44            |                    | 20.9654  | 0.0000 |
| $r\Delta\text{Bev}_{t-10}$    | 0.25                                | 0.01            | 0.2279             | 22.9080  | 0.0000 |
| $a\Delta\text{Eev}_{t-10}$    | 0.00                                | 0.00            | 0.2825             | 26.2264  | 0.0000 |
| $r\Delta\text{Eev}_{t-10}$    | -0.25                               | 0.01            | -0.2745            | -19.2629 | 0.0000 |
| $a\Delta\text{Bev}_{t-10}$    | 0.00                                | 0.00            | 0.1009             | 11.2157  | 0.0000 |
| $\Delta e\text{PpP}_{t-10}$   | -0.32                               | 0.04            | -0.0752            | -7.7135  | 0.0000 |
| $\Delta\text{RangErr}_{t-10}$ | 0.01                                | 0.00            | 0.0696             | 5.5678   | 0.0000 |

### 5.5.3 Unterteilung der Bezirke bzw. Gemeinden in Typen

Werden Bezirke bzw. Gemeinden in der Regression unterschieden in verschiedenen Typen (vgl. Kapitel 4.2.3) so ergeben sich sehr unterschiedliche Korrelationskoeffizienten.

So werden zum Beispiel Gemeinden des Typ 1 (Zentrumsgemeinden, vgl. Kap. 4.2.3) von der Variable  $\Delta e\text{PpP}_{t-10}$  stark beeinflusst, Gemeinden des Typ 2 und 3 (Gürtelgemeinden bzw. industrielle, agrare und touristische Gemeinden, vgl. Kap. 4.2.3) dagegen jedoch kaum (vgl. Tabelle 12).

Tabelle 12 Regressionskoeffizient für  $\Delta\text{EpP}$  für die Gemeinden

| Modell Variablen  |        | Ohne Typen   | Typ 1         | Typ 2        | Typ 3        |
|-------------------|--------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| Rel. und absolute | t + 10 | <b>-0.33</b> | -27.20        | -1.75        | -1.23        |
|                   | t      | <b>-0.43</b> | <b>31.67</b>  | <b>-1.88</b> | <b>-0.78</b> |
|                   | t-10   | <b>-0.32</b> | <b>-25.98</b> | <b>-1.79</b> | <b>-0.72</b> |
| Relative          | t + 10 | <b>-0.36</b> | <b>84.00</b>  | <b>-2.07</b> | <b>-1.08</b> |
|                   | t      | <b>-0.41</b> | <b>10.56</b>  | <b>-1.84</b> | <b>-0.63</b> |
|                   | t-10   | <b>-0.28</b> | <b>9.34</b>   | -1.72        | <b>-0.24</b> |
| Absolute          | t + 10 | <b>-0.55</b> | <b>-6.12</b>  | -0.92        | <b>-0.24</b> |
|                   | t      | <b>-0.58</b> | <b>-6.81</b>  | -0.97        | <b>-0.26</b> |
|                   | t-10   | <b>-0.65</b> | <b>-11.96</b> | <b>-1.13</b> | <b>-0.28</b> |

Bemerkung: Falls der Wert **fett** ist, ist der Koeffizient auf 5 % signifikant (bzw. bei Typ 2 und Typ 3 ist der Unterschied zu Typ 1 signifikant)

Durch die zusätzliche Unterteilung werden die Werte des Bestimmtheitsmasses  $R^2$  jeweils deutlich erhöht (vgl. Abb. 28 in Kap. 5.5.4).

#### 5.5.4 Kombination von variablen Regressionskoeffizienten sowie Unterteilung in Bezirks- bzw. Gemeindetypen

Wie in den vorherigen Unterkapiteln beschrieben wurde, kann das Bestimmtheitsmass der Regressionen erhöht werden, falls die betrachteten Zonen entweder in Gemeinde- bzw. Bezirkstypen unterteilt oder die Korrelationskoeffizienten mit der Zeit veränderlich eingeführt werden. Falls eine Kombination von Typen sowie zeitabhängigen Koeffizienten eingeführt wird, kann die Regression weiter verbessert werden. Die Abbildungen 27 und 28 zeigen für die Gemeinden bzw. die Bezirke jeweils das Bestimmtheitsmass  $R^2$  für verschiedene Regressionsmodelle. Es ist ersichtlich, dass bei der Analyse auf Bezirksebene zeitabhängige Koeffizienten die grösste Erhöhung an Aussagekraft für die Regression bewirken. Die Unterteilung der Bezirke in mittelländisch, alpine sowie Bezirke im Jura erbringen dagegen nur noch eine kleine Verbesserung.

Für die Gemeinden dagegen kann durch die Unterteilung in Typen jeweils die grösste Erhöhung des  $R^2$  von der linearen Regression erzielt werden.

In der Legende der Abbildungen 27 und 28 steht T (bzw. V) jeweils für „Unterteilung in Typen“ (bzw. „variable Regressionskoeffizienten“) sowie j bzw. n für „Ja“ oder „nein“.



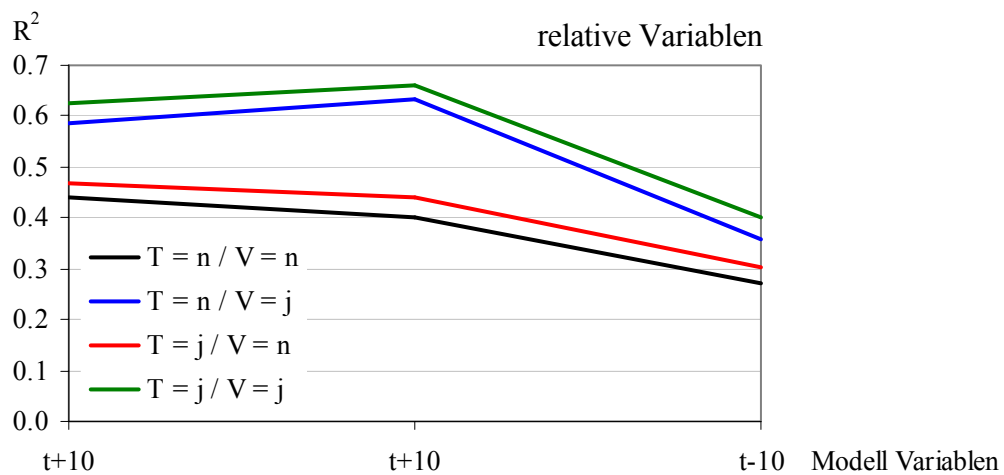
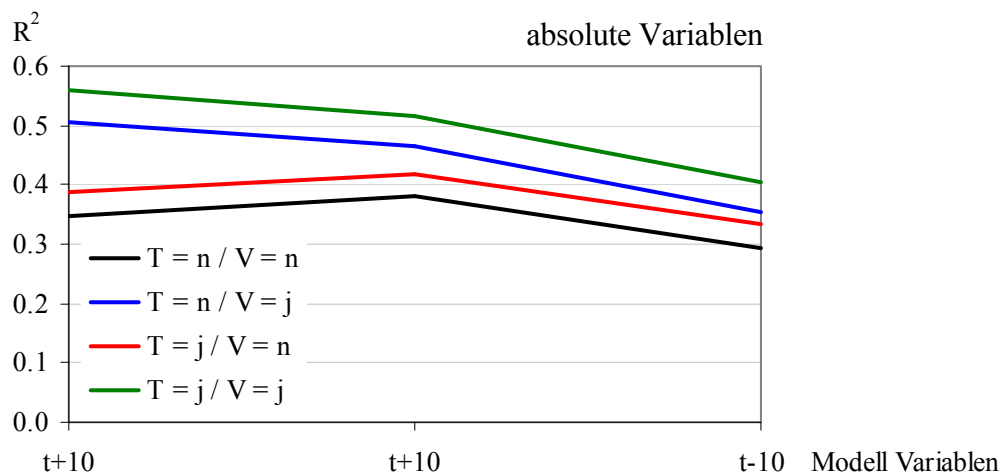
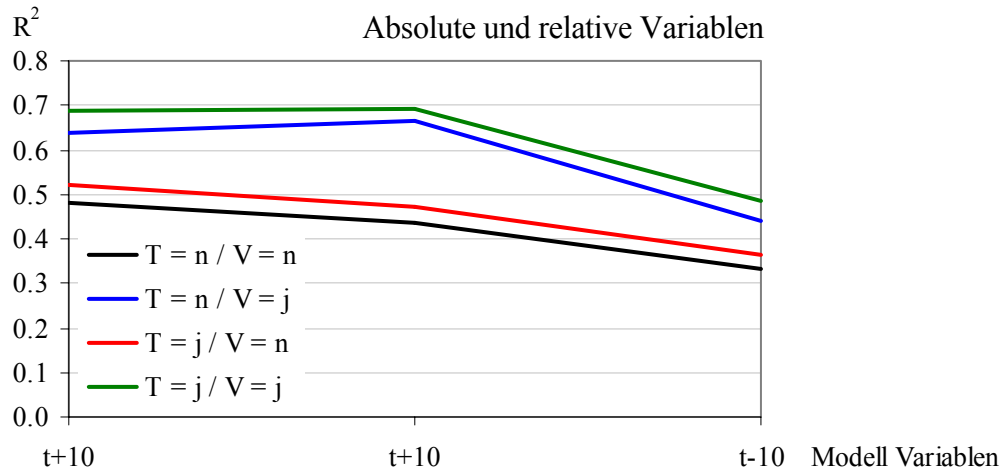
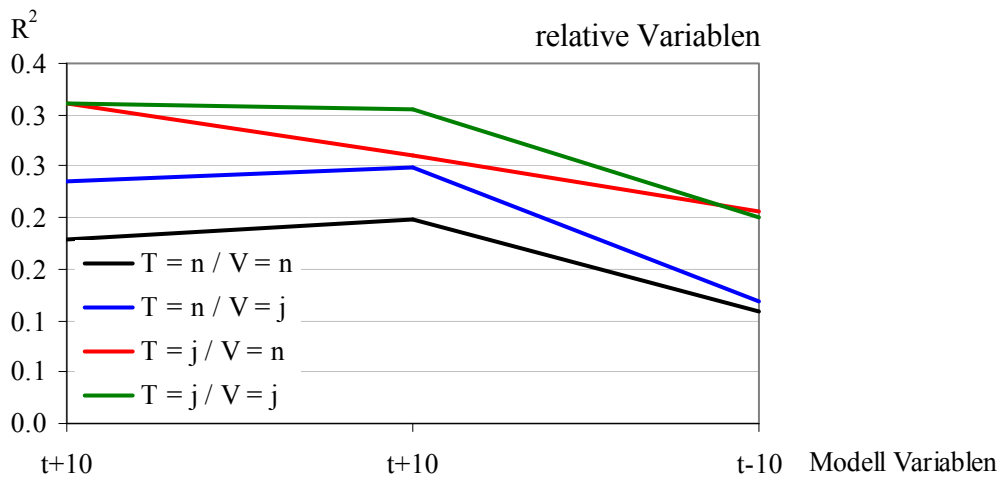
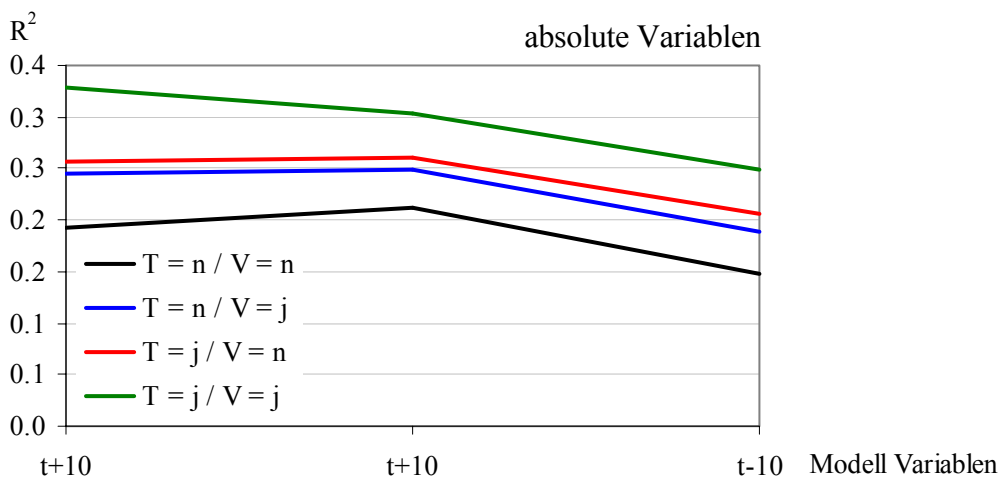
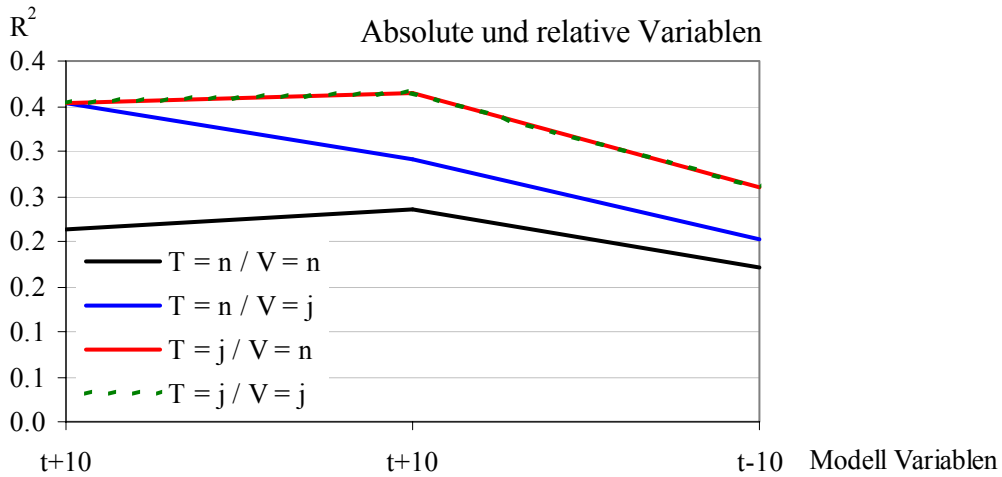
Abbildung 27  $R^2$  für die verschiedenen Regressionsmodelle (Bezirke)**BEZIRKE**

Abbildung 28  $R^2$  für die verschiedenen Regressionsmodelle (Gemeinden)

**GEMEINDEN**



## 6 Schlussfolgerungen

Seit 1950 hat sich in der Schweiz sowohl die Verteilung der Wohnbevölkerung als auch der Erreichbarkeit wesentlich verändert. Die Erreichbarkeit hat in der Grossregion Zürich sowie entlang des Genfersees beinahe flächendeckend einen hohen Wert erreicht, so dass nicht mehr einzelne Spitzen in der räumlichen Verteilungen erkennbar.

Bei der Zeitreihenanalyse wurde ersichtlich, dass infolge der Veränderung der Raumstruktur auch die Abhängigkeiten zwischen den Variablen sehr stark variieren. So kann am Ende des 20. Jahrhunderts z.B. kaum mehr von einer Abhängigkeit der relativen Wohnbevölkerungsentwicklung von der Erreichbarkeitsentwicklung gesprochen werden, was aber in diversen Modellen der Verkehrs- und Raumplanung angenommen wird. In der Schweiz hat die Erreichbarkeit jedoch einen hohen Wert mit einer dichten räumlichen Verteilung angenommen, so dass diese keinen wesentlichen Einfluss mehr in der Wohnortauswahl hat.

Ebenfalls wurde durch die Zeitreihenanalyse ersichtlich, dass durch Schätzungen der unabhängigen Variablen weiter in die Zukunft als dass die abhängige Variable liegt, nur geringe Verbesserungen erreicht werden können, als wenn die Variablen bis zu dem Zeitpunkt der gesuchten Variablen geschätzt werden. Bedenkt man, dass die für die Analyse verwendeten Daten keine Schätzungen, sondern die tatsächlichen Werte der „Zukunft“ sind, so liegt die tatsächliche Aussagekraft für die Schätzung in die (ferne) Zukunft etwas tiefer, als in dieser Arbeit berechnet.

Die Regressionskoeffizienten sollten für Prognosen infolge der grossen Unterschiede zwischen 1950 bis 2000 jeweils als mit der Zeit variabel modelliert werden. Vor allem wenn das Resultat einer Berechnung von mehr als einem Zeitschritt in die Zukunft von Interesse ist, wird das Ergebnis sonst wesentlich verfälscht.

In Kapitel 5.4 konnte gezeigt werden, dass seit dem Beginn des Nationalstrassenbaus, die Kosten für die ab 1990 erstellten Strassenstücke pro Kilometer rund drei mal mehr ausgegeben wurde, als in der Zeit davor. Die Erreichbarkeit nahm jedoch nicht mehr so stark zu, wie zuvor. Ein Grossteil der seit 1990 erstellten Nationalstrassenprojekte waren also sehr teuer, brachten jedoch nur eine geringe Erreichbarkeitserhöhung mit sich.

Für die noch zu erstellenden Strecken des Nationalstrassennetz werden die Neubaukosten pro Kilometer kaum niedriger sein. Ob die Erreichbarkeit jedoch infolge der Investitionen wieder stärker anwächst, wird die Zukunft zeigen.

## 7 Literatur

- Bahrenberg/ Giese/ Nipper (1992) Statistische Methoden in der Geographie *Band 2 Multivariate Statistik*
- Banister D., Berechman D. (2000) Transport Investment and economic development
- Billeter/ Vlach (1981) Zeitreihenanalyse Einführung in die praktische Anwendung
- Bodenmann B. (2003) Zusammenhänge zwischen Raumnutzung und Erreichbarkeit, *Nachdiplomarbeit*, IVT ETH Zürich
- Bundesamt für Statistik, Statistisches Jahrbuch der Schweiz, div. Jahrgänge
- Bundesamt für Statistik, Statistik Schweiz, <http://www.bfs.admin.ch>
- Eidgenössisches Statistisches Amt (1968) Die Strassenkosten und ihre Deckung 1959 – 1965, *Statistisches Quellenwerk der Schweiz* Heft 424, Reihe Mm 2
- Fröhlich, P. and K. W. Axhausen (2002) Development of car-based accessibility in Switzerland from 1950 through 2000: First results, *Arbeitsbericht Verkehr- und Raumplanung*, **111**, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau (IVT), ETH, Zürich.
- Kantone und Städte der Schweiz, Schweizerische Strassenrechnungen, div. Jahrgänge
- Kesselring H.-C., Halbherr P. und Maggi R. (1982) Strassennetausbau und raumwirtschaftliche Entwicklung *Eine Potentialanalyse am Beispiel ausgewählter schweizerischen Regionen*
- O’Kelly M.E., Horner M.W. (2001) Changes in regional population patterns, 1990 – 2000: *An Analysis of US Census Data*, Departement of Geography, The Ohio State University
- Ritzmann H., Siegenthaler H. (1996) *Historische Geschichte der Schweiz*
- Schilling H.R. (1973), Kalibrierung von Widerstandsfunktionen, ETHZ, Lehrstuhl für Verkehrsingenieurwesen
- Schuler M. (1997) Die Raumgliederung der Schweiz, *Eidgenössische Volkszählung 1990*, Bundesamt für Statistik.

Schweizerische Nationalbank (2003) *Publikationen*,  
<http://www.snb.ch/d/publikationen/publi.html>

Seimetz Hans-Jürgen (1987) Raumstrukturelle Aspekte des Fernstrassenbaus, *Mainzer Geographische Studien* Heft 30, *Geographisches Institut der Johannes Gutenberg-Universität Mainz*

Siegenthaler HJ., Ritzmann H. (1996) *Historische Statistik der Schweiz*, *Chronos*, Zürich

Stier W. (2001) *Methoden der Zeitreihenanalyse*

Strasse und Verkehr, *Strassenrechnungen*, div. Jahrgänge

Tschopp, M., P. Keller und K. W. Axhausen (2003) *Raumnutzung in der Schweiz: Eine historische Raumstruktur-Datenbank*, *Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung*, **165**, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich.

Tschopp, M., R. Sieber, P. Keller und K. W. Axhausen (2002) *Demographie und Raum in der Schweiz: Ein historischer Abriss*, *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung*, **134**, IVT, ETH Zürich, Zürich.

Widmer, P. und K.W. Axhausen (2001) *Aktivitäten-orientierte Personenverkehrsmodelle*, *Forschungsauftrag SVI 46/99*, *Schriftenreihe*, **471**, Bundesamt für Strassen, UVEK, Bern.

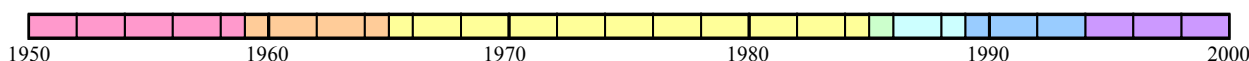
## Anhang A: Vergleich der Neubaukosten BFS mit den Neubaukosten statistisches Jahrbuch

Da wie in Kapitel 3.4 bereits erwähnt wurde, für das betrachtete Zeitfenster von 1950 bis 2000 sowohl für die Kantonsstrassen keine Daten auffindbar waren, welche die ganze Periode abdecken, mussten die Daten aus verschiedenen Quellen miteinander kombiniert werden.

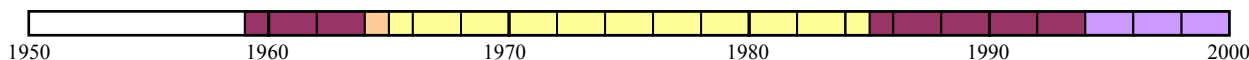
Zur Erinnerung der Quellen der vorhandenen Kosten ist hier noch einmal die Tabelle 4 aufgeführt:

Tabelle 13 Quellen Neubaukosten Kantons- und Nationalstrassen

Kantons- und Nationalstrassen:



Nationalstrassen:



| Jahr:       | Quelle:  |
|-------------|--|
| 1950 – 1958 | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #f080f0; border: 1px solid black;"></span> Statistisches Jahrbuch der Schweiz (div. Jahrgänge)        |
| 1959 – 1964 | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #ff8c00; border: 1px solid black;"></span> Ordner   |
| 1965 – 1984 | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #ffff00; border: 1px solid black;"></span> Magazin „Strasse und Verkehr“ (div. Ausgaben)              |
| 1985        | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #90ee90; border: 1px solid black;"></span> Statistisches Jahrbuch der Schweiz                         |
| 1986 – 1988 | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #7fffd4; border: 1px solid black;"></span> Interpoliert zwischen 1985 und 1989                        |
| 1989 – 1993 | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #6495ed; border: 1px solid black;"></span> Kantone und Städte (div. Jahrgänge)                        |
| 1994 – 2000 | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #9370db; border: 1px solid black;"></span> Bundesamt für Statistik (CD erhalten von M. Tschopp, IVT)  |
| <br>        |  |
| 1959 – 1963 | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #800000; border: 1px solid black;"></span> Historische Geschichte der Schweiz BFS                     |
| 1985 – 1993 | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #800000; border: 1px solid black;"></span> Historische Geschichte der Schweiz BFS                     |
| 1964        | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #ff8c00; border: 1px solid black;"></span> Schweizerische Strassenrechnung, Eidgenössisches stat. Amt |
| 1965 – 1984 | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #ffff00; border: 1px solid black;"></span> Magazin „Strasse und Verkehr“ (div. Ausgaben)              |
| 1994 – 2000 | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #9370db; border: 1px solid black;"></span> Bundesamt für Statistik (CD erhalten von M. Tschopp, IVT)  |

Vom BFS liegen Daten vor, welche die ganze Periode von 1950 – 2000 abdecken. Jedoch sind diese Daten nur gesamtschweizerisch vorhanden.

Die recherchierten Daten für Kantons- sowie Nationalstrassen wurden mit den gesamtschweizerischen vom BFS verglichen. Bei den Nationalstrassen ergab dies die bereits gezeigte Abbildung 10. Bis auf zwei Spitzen gab es keine wesentlichen Abweichungen zwischen den Datensätzen.

Wird dieselbe Methodik auch für die Kantonsstrassen angewendet, so sind jedoch massive Differenzen vorhanden. Die Kosten des BFS sind jeweils höher als jene aus den Bändern des Magazins „Strasse und Verkehr“, wobei die Unterschiede bis 310 Mio. SFr betragen (vgl. Abbildung 29). Ab 1989 stimmen die Kosten miteinander überein. Das „Zick-Zack“ zwischen 1959 – 1963 sowie die höhere Spitze der Kosten aus Bändern des Statistischen Jahrbuch vom Jahr 1992 kommt aus den unterschiedlichen Buchungszeitpunkte der Kosten der Nationalstrassen (vgl. oben). Denn die Neubaukosten der Kantonsstrassen aus den Bändern des Magazins Strasse und Verkehr errechnet sich aus der Differenz einer totalen Summe (für Nationalstrassen und Kantonsstrassen) minus die Kosten für Nationalstrassen; sind also bereits die Nationalstrassen falsch, werden die Kosten der Kantonsstrassen ebenfalls nicht richtig sein. Werden diese Differenzen bereinigt, so liegen bis 1984 zwei vom Verlauf her ähnliche Kurven vor (vgl. Abbildung 30).

Abbildung 29 Differenz von den erhobenen Neubaukosten für Kantonsstrassen – „Soll BFS“ (gesamte Schweiz)

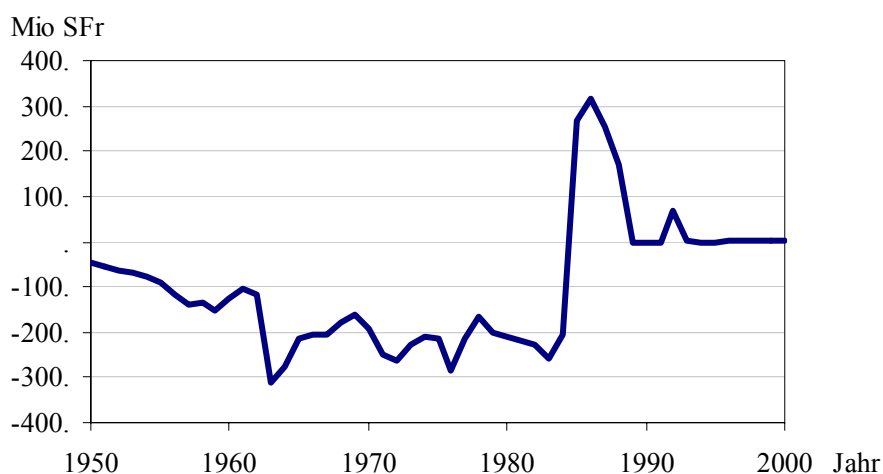
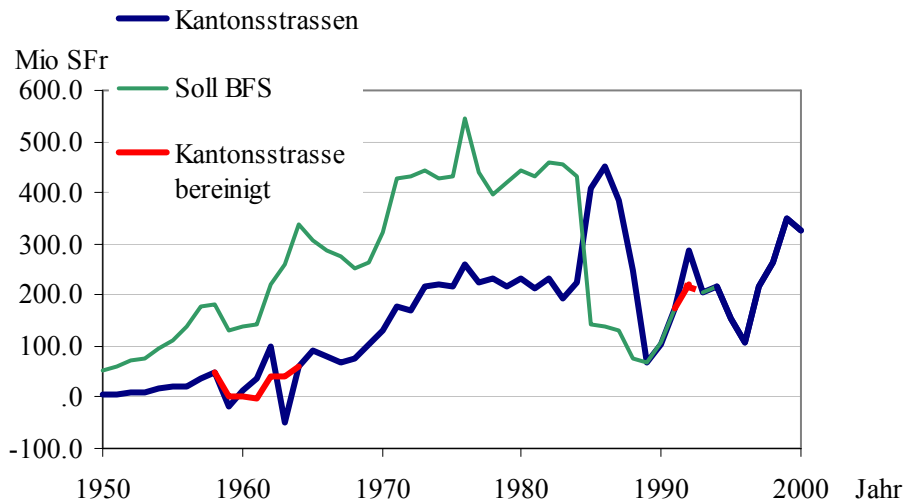


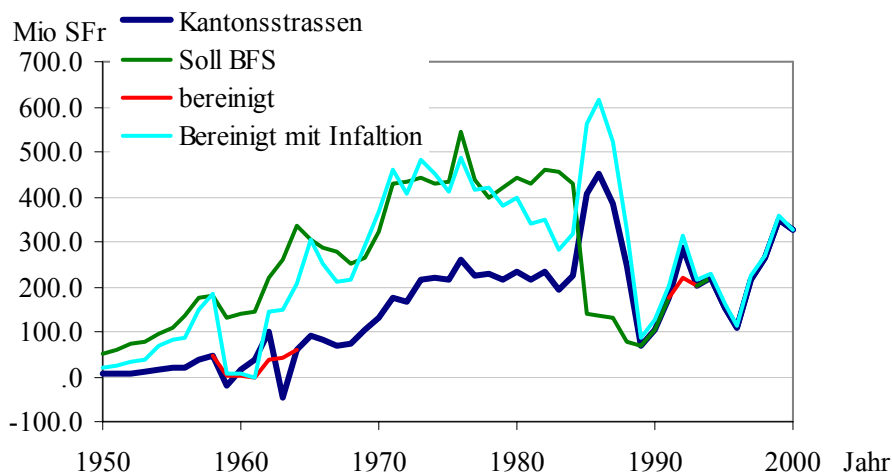


Abbildung 30 Neubaukosten Kantonsstrasse (Erhobene Daten, bereinigte Daten und Soll-BFS)



Die Vermutung, dass die eine Kurve inflationsbereinigt ist, und die andere nicht, liegt sehr nahe. Werden die erhobenen Kosten der Kantonsstrassen bis 1984 der Inflation unterworfen (Jahr 2000 = 100 %), so stimmen die beiden Kurven ziemlich gut miteinander überein. Jedoch sind immer noch grosse Differenzen zwischen den beiden Kurven vorhanden, und Differenz zwischen 1983 und 1985 lässt sich damit nicht erklären.

Abbildung 31 Neubaukosten Kantonsstrasse (Erhobene Daten, „inflationbereinigt“)



Auch wenn durch die Inflationsbereinigung die Kurven teilweise gut miteinander übereinstimmen, so gibt es jedoch auch Gründe, die diese Lösung verwerfen. Denn falls die Kosten für die Kantonsstrassen aus den erhobenen Daten inflationsbereinigt werden, dann müssten auch die Kosten für Nationalstrasseneubauten bereinigt werden, welche aber ohne Inflation gut mit jenen vom BFS übereinstimmen.

Ebenfalls gegen eine Inflationsbereinigung spricht ein Vergleich aller Ausgaben, welche für Kantons- und Nationalstrassen gemacht wurden. Die Summe aller Kosten ist jeweils bis auf wenige Prozent gleich (vgl. Abbildung 31, 32 und 33).

Es könnte deshalb sein, dass verschiedene Berechnungen bzw. Aufteilungen der totalen Kosten angewendet wurden. Jedoch konnte keine mögliche Aufteilung gefunden werden, welche die Differenzen erklärt hätte.

Deshalb wurden für den weiteren Verlauf der Arbeit nur die Neubaukosten der Nationalstrassen berücksichtigt

Abbildung 32 Kosten Kantons- und Nationalstrasse (Mio. Sfr, Jahr 1970)

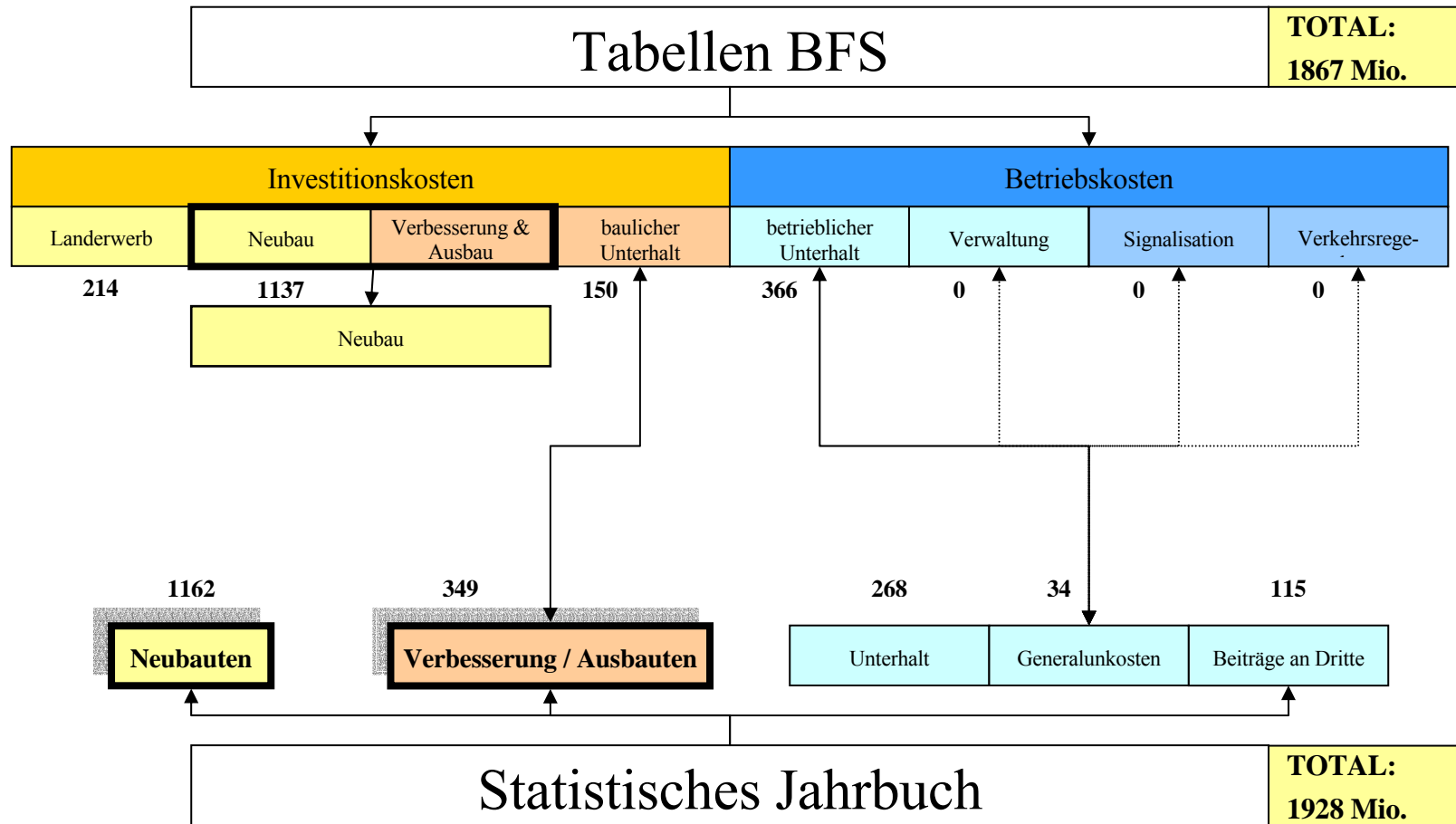


Abbildung 33 Kosten Kantons- und Nationalstrasse (Mio. SFr, Jahr 1976)

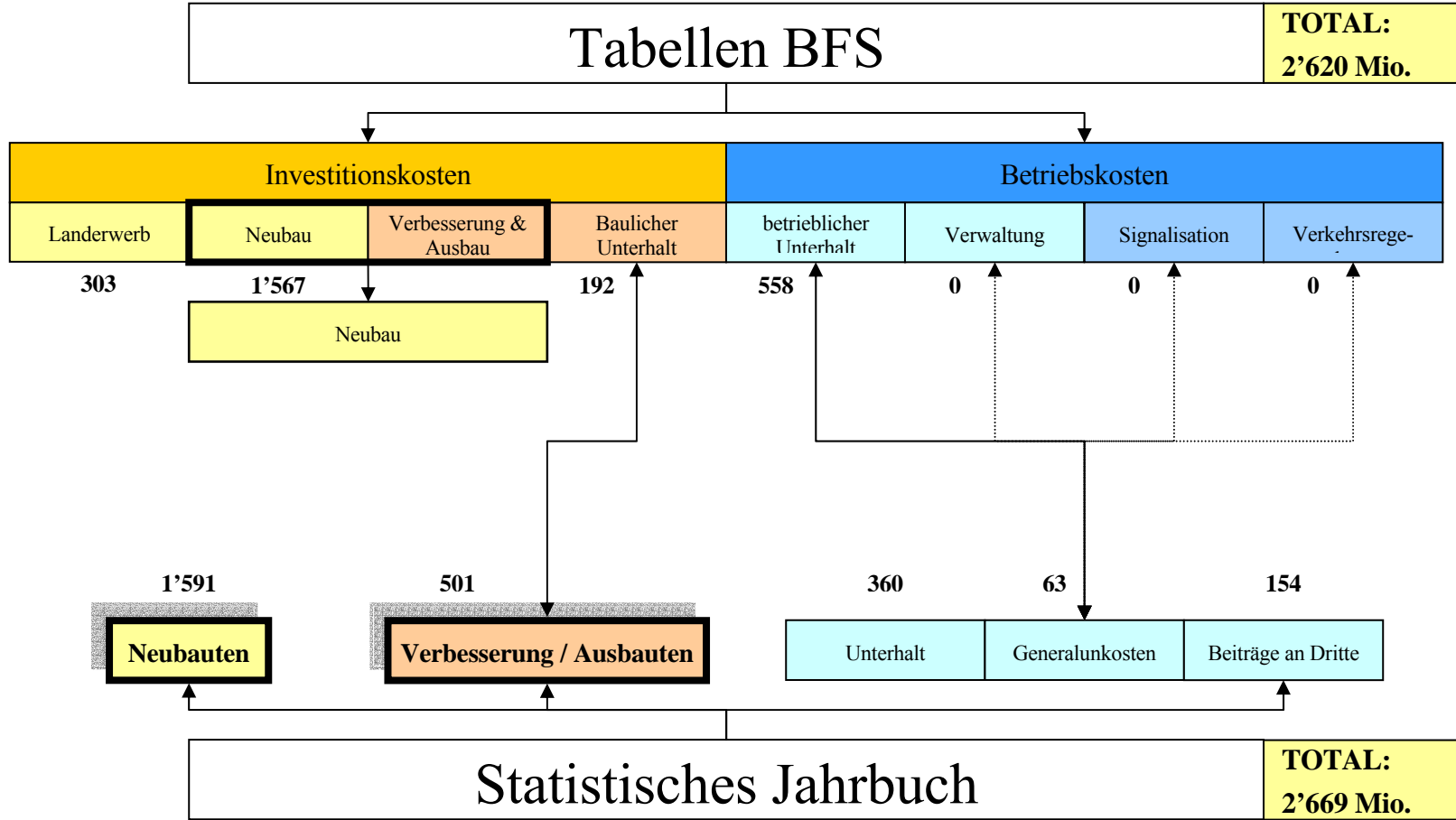
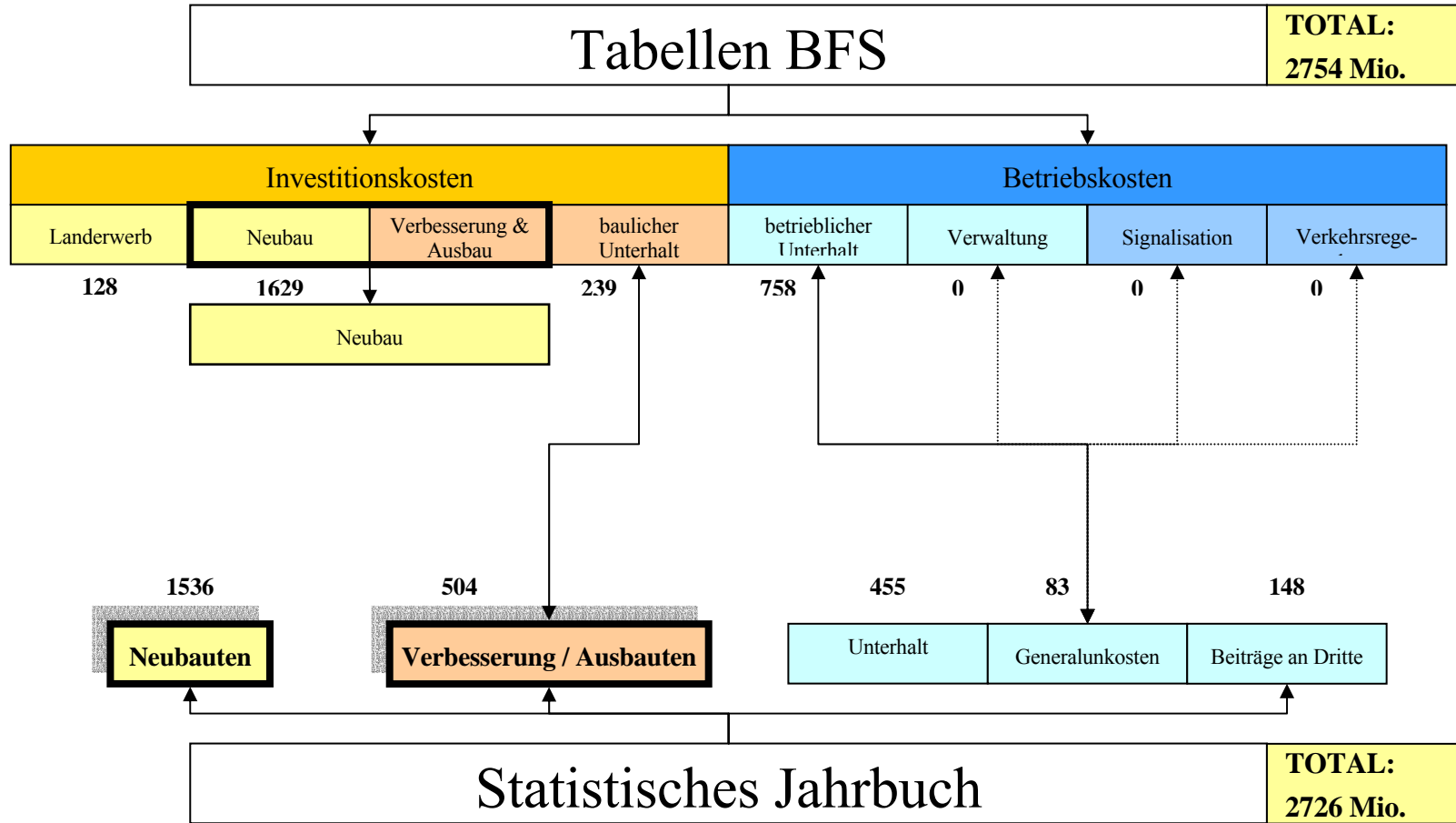


Abbildung 34 Kosten Kantons- und Nationalstrasse (Mio. SFr, Jahr 1982)



## Anhang B: Resultate der Regressionsanalysen auf CD

Im Folgenden wird kurz darauf eingegangen, welche Daten auf der beigelegten CD. Alle Resultate sind im Ordner Resultate in dem Excel-File Regression.xls auffindbar.

Es sind die Resultate der folgenden Regressionen aufgelistet:

- einfache lineare Regression
- lineare Regression mit Unterteilung in Typen
- Regression mit zeitabhängigen Regressionskoeffizienten
- Regression mit Unterteilung in Typen sowie mit zeitabhängigen Regressionskoeffizienten.

Es wird empfohlen, um etwas eine bessere Übersicht von diesem File zu erhalten, zu Beginn kurz das Arbeitsblatt „ALLGEMEINES“ anzuschauen.

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: [hotz@ivt.baug.ethz.ch](mailto:hotz@ivt.baug.ethz.ch)

WWW: [www.ivt.baug.ethz.ch](http://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/veroeffent\\_arbeitsbericht.html](http://www.ivt.baug.ethz.ch/veroeffent_arbeitsbericht.html)