

Erreichbarkeitsveränderungen in der Schweiz: Eine kartographische Darstellung

Milena Scherer

Semesterarbeit
Studiengang Bauingenieurwissenschaften

August 2004

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Darstellung der Reisezeiten in der Schweiz von 1850 bis 2000	2
2.1	Aufgabenstellung	2
2.2	Datengrundlagen	2
2.3	Wie sind Reisezeiten darstellbar?	3
2.4	Vorgehen bei der Erstellung von Zeitkarten	6
2.4.1	LTOP Funktionsweise	6
2.4.2	In vier Schritten zu den Inputdaten für die Zeitkarte	8
2.4.3	Anwendung der Inputdaten	13
2.4.4	Lesbarkeit der Karten	14
2.4.5	Verschiedene Darstellungsmöglichkeiten	15
2.4.6	Eingabedaten für LTOP	17
2.5	Resultate	21
2.6	Ausblick	27
3	Schätzung eines Verkehrsmittelwahl-Modells der Schweiz von 1970 bis 2000 ..	29
3.1	Aufgabenstellung	29
3.2	Berechnung und Darstellung der Erreichbarkeit	30
3.3	Datengrundlagen	30
3.4	Modellansatz	31
3.5	Variablen der Verkehrsmittelwahlberechnung	32
3.5.1	Resultate	36
3.5.2	Nachfrageelastizitäten	38
4	Danksagung	42
5	Literatur	43
	Anhang	45

Semesterarbeit Studiengang Bauingenieurwissenschaften

Erreichbarkeitsveränderungen in der Schweiz

Milena Scherer
Bruchmattrain 9
6003 Luzern

Telefon: 079 690 91 93
e-Mail-Adresse: milscher@student.ethz.ch

August 2004

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich im ersten Teil mit der Darstellung von Reisezeiten. Die generierten Zeitkarten sind anhand der Reisezeiten skaliert und ermöglichen so einen optischen Vergleich der Reisezeitveränderungen in der Schweiz der letzten 150 Jahre. Mittels LTOP - Implementierung in ArcGis wurde ein Tool geschaffen welche die kartographische Darstellung der Reisezeiten vereinfacht.

Der zweite Teil der Arbeit untersucht die Verkehrsmittelwahl von 1970 bis 2000 der Pendler in der Schweiz. Anhand eines multinominalen Logit Modells werden die Einflussgrößen auf die Verkehrsmittelentscheidung geschätzt und mit der Berechnung der Nachfrageelastizitäten beurteilt. Die Entscheidungswahrscheinlichkeiten wurden nach räumlichen Gemeindegrenzen aufgeteilt, um eine Aussage über die Wahl des Verkehrsmittels nach Quelle – Ziel - Beziehungen machen zu können.

Schlagworte

Zeitkarten – Reisezeit – LTOP – Verkehrsmittelwahl – multinominales Logit Modell

Zitierungsvertrag

Scherer, M. (2004) Erreichbarkeitsveränderungen in der Schweiz: Eine kartographische Darstellung, Semesterarbeit, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich.

1 Einleitung

1834 wurden erste Eilpostverbindungen in der Schweiz eingeführt. In diesen Jahren betrug die Reisezeit von Basel nach Mailand mindestens 3 Tage. Mit der Eröffnung der Eisenbahnstrecke Mailand - Camerlata konnte diese Reisezeit auf 50 Stunden reduziert werden. Nach der Eröffnung des Gotthardtunnels betrug die Reisezeit auf ebendieser Strecke noch 10 Stunden. Heute benötigen wir für diese Verbindung rund 5 Stunden. Mit der Eröffnung der NEAT - Bauwerke sollen die Reisezeiten noch weiter verkürzt werden. Die Reisezeiten der Bahn haben sich in den letzten 150 Jahren markant verringert. Das ermöglicht uns, in kürzester Zeit von einem Ende der Schweiz ans Andere zu gelangen.

Der Strassenverkehr hatte im letzten Jahrhundert ebenfalls einen rasanten Anstieg zu verzeichnen, der Strassenausbau inklusive den Tunnelbauwerken ermöglichen seit einiger Zeit ein rasches Vorwärtkommen. Gleichzeitig trägt die Autoindustrie ihren Anteil bei, indem sie immer schnellere, sicherere und vor allem für jedermann erschwingliche Fahrzeuge auf den Markt bringt.

Weil wir in derselben Zeit immer grössere Entfernungen zurücklegen können, schrumpft sozusagen die uns bekannte Umwelt. Unser Aktionsradius hat sich seit den letzten 150 Jahren stark erweitert. Diese Umstände führen zu neuen Weltbildern, welche in der vorliegenden Arbeit optisch dargestellt werden (Kapitel 2). Es wird sichtbar, dass die Schweiz in den letzten zweihundert Jahren dank der Entwicklung und Verbesserung der Transportsysteme um einiges geschrumpft ist. Zudem haben sich die Vorlieben der Verkehrsteilnehmer bei der Verkehrsmittelwahl infolge neuer Möglichkeiten geändert. Im zweiten Teil der vorliegenden Arbeit wird deshalb näher auf die Verkehrsmittelwahl der Schweizer Pendler ab 1970 eingegangen (Kapitel 3).

2 Darstellung der Reisezeiten in der Schweiz von 1850 bis 2000

2.1 Aufgabenstellung

Im Rahmen der COST Aktion 340 „Learning from History“ sind am Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme der ETH Zürich (IVT) umfassende Datenbanken zur Entwicklung der Schweizer Verkehrsnetze und der Schweizer Gemeinden entstanden. Aus diesen Daten wurden die Erreichbarkeiten der Schweizer Gemeinden mit dem motorisierten Individualverkehr und dem öffentlichen Verkehr berechnet und teilweise dargestellt (Axhausen, Fröhlich, Tschopp und Keller, 2003). Die Darstellung der Reisezeiten war darin nicht enthalten. In der vorliegenden Arbeit sollen die Reisezeiten und deren Veränderung über längere Betrachtungszeiträume visualisiert und erklärt werden. Am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie (IGP) an der ETH Zürich wurde hierfür ein Informatikwerkzeug entwickelt, welches mit entsprechenden Eingabedaten die Erstellung von so genannten Zeitkarten in ArcMap ermöglicht. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich hauptsächlich auf die Anwendung dieser Programme und die anschauliche Darstellung der Reisezeiten in Kartenform. Grundidee dabei ist, die Schweiz nicht mehr in Abhängigkeit der realen Distanzen, sondern in Funktion der Reisezeiten abzubilden, indem eine Zeiteinheit einer „virtuellen“ Distanz entspricht.

2.2 Datengrundlagen

Als Datengrundlage dienen die Datenbanken der COST Aktion 340 des IVT. Die Informationen über die Gemeinden wurden der Gemeindezuordnungstabelle (Tschopp und Keller, 2003) entnommen.

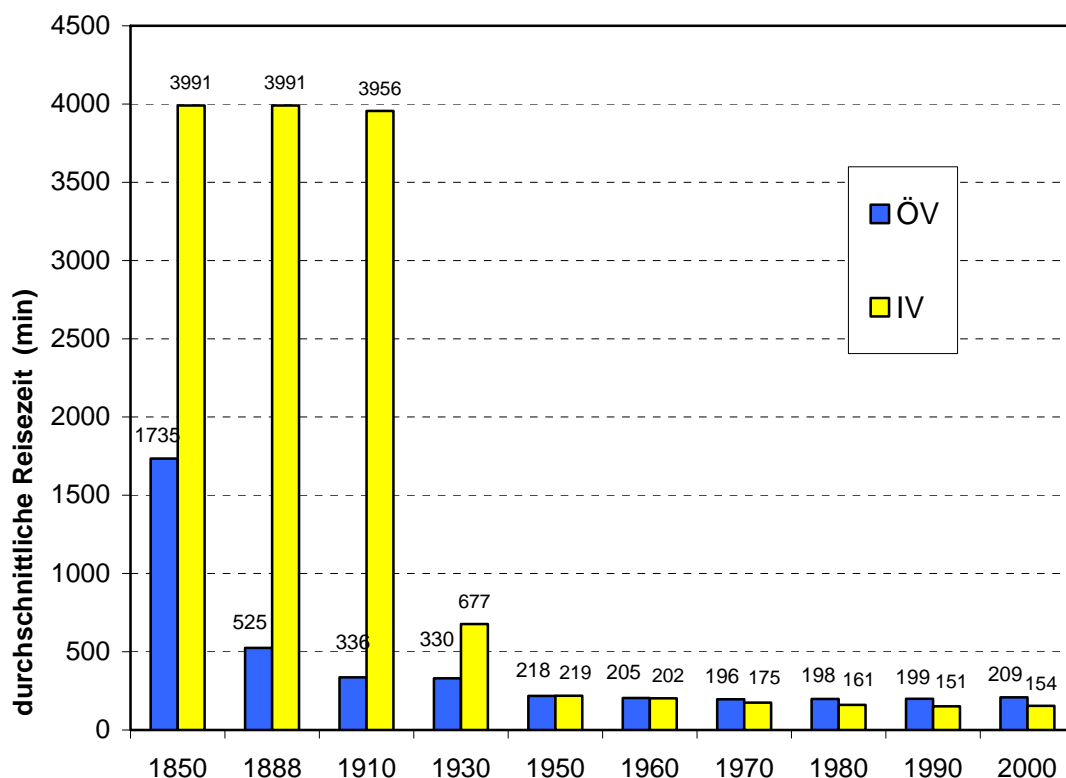
Daten über die Reisezeiten sind ebenfalls in den Datenbanken der COST Aktion 340 vorhanden, wobei das heutige Strassenmodell angenommen wurde (Vrtic, Fröhlich und Axhausen, 2003). Für die historischen Daten (1850-1930) mussten sinnvolle Durchschnittsgeschwindigkeiten angenommen werden (Erath und Fröhlich, 2003). Mittels einer Bestwegumlegung wurden mit der Verkehrssoftware VISUM die Reisezeiten des Individualverkehrs zwischen den 2896 Schweizer Gemeinden ermittelt.

Das Schienennetzmodell des Jahres 2000 basiert auf dem Fahrplan 99/00 der Schweizerischen Bundesbahn (SBB). Den Modellen der Jahre 1960-1990 liegen ebenfalls die SBB-Fahrpläne der jeweiligen Jahre zugrunde. Das Modell für 1950 wurde anhand des Sommerfahrplans 1950 der SBB erstellt. Die Modelle sind fahrplanfein und berücksichtigen alle Züge. Ortschaften ohne Bahnhöfe wurden mit sinnvollen Zu- und Abgangszeiten an das Bahnnetz angebunden.

2.3 Wie sind Reisezeiten darstellbar?

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, Reisezeiten und ihre Veränderung über die Zeit darzustellen. Einfachste Darstellungen sind z.B. Balkendiagramme mit dem Wert der Reisezeit einer ausgewählten Verbindung über verschiedene Jahre betrachtet (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1 Reisezeiten der Verbindung Genf - Luzern, 1850-2000



Quelle: COST Aktion 340

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Reisezeiten ausgehend von einem festgelegten Ort farblich (Isochronen) auf einer geographischen Karte zu visualisieren (siehe Abbildung 2).

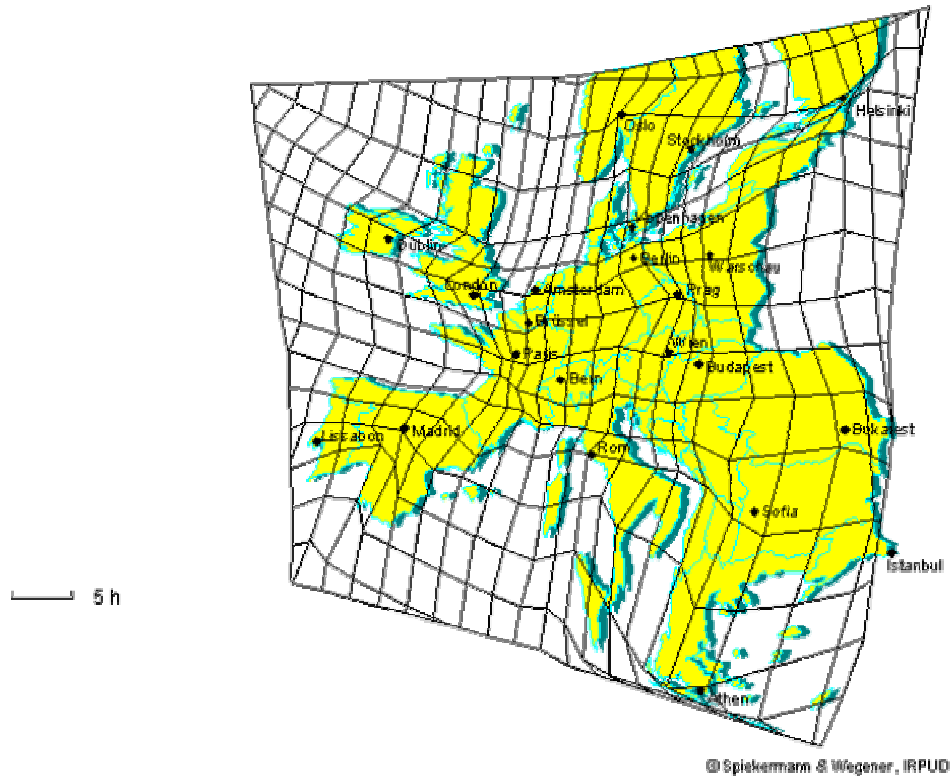
Abbildung 2 Isochronen der Reisezeiten



Quelle: Spiekermann in Axhausen (2001)

Spiekermann hat in einem weiteren Schritt Zeitkarten (Time maps) entwickelt, die dem Betrachter die Reisezeitveränderung visualisiert, indem die geographischen Karten anhand von Reisezeiten transformiert werden (siehe Abbildung 3). So wird es möglich, anhand der Reisezeit - Skalierung unsere bekannte Umwelt entsprechend der Reisedauer darzustellen (Spiekermann, 1999).

Abbildung 3 Zeitkarte Europas 1993 (Bahnreisezeiten)



2.4 Vorgehen bei der Erstellung von Zeitkarten

Anhand einer Implementierung von LTOP (Landestopographie, vgl. nächsten Abschnitt) und Zusatzfunktionen von C++, welche von Claudia Dolci im Rahmen ihrer Dissertation am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie an der ETH Zürich entwickelt wurde, ist es möglich, Reisezeiten darzustellen. Diese Entwicklung von spezifischen Werkzeugen ermöglicht die Erstellung von Zeitkarten in ArcGis¹. Das Programm rechnet die angegebenen Reisezeiten in imaginäre Distanzen um und ermittelt damit die neuen Koordinaten der eingegebenen Ortschaften.

Die dabei nötigen Arbeitsschritte lassen sich in folgende sechs Punkte zusammenfassen und werden anschliessend ausführlich beschrieben.

1. Aufbereitung der Eingabedaten mit TextPad
2. Transformation der Daten mittels LTOP
3. Einfügen der zu verzerrenden Layer in ArcMap
4. Anwendung der LTOP - Output – Daten auf die Layer
5. Resultat: verzerrte Karte
6. Kartendarstellung mit Zusatzinformationen verbessern

2.4.1 LTOP Funktionsweise

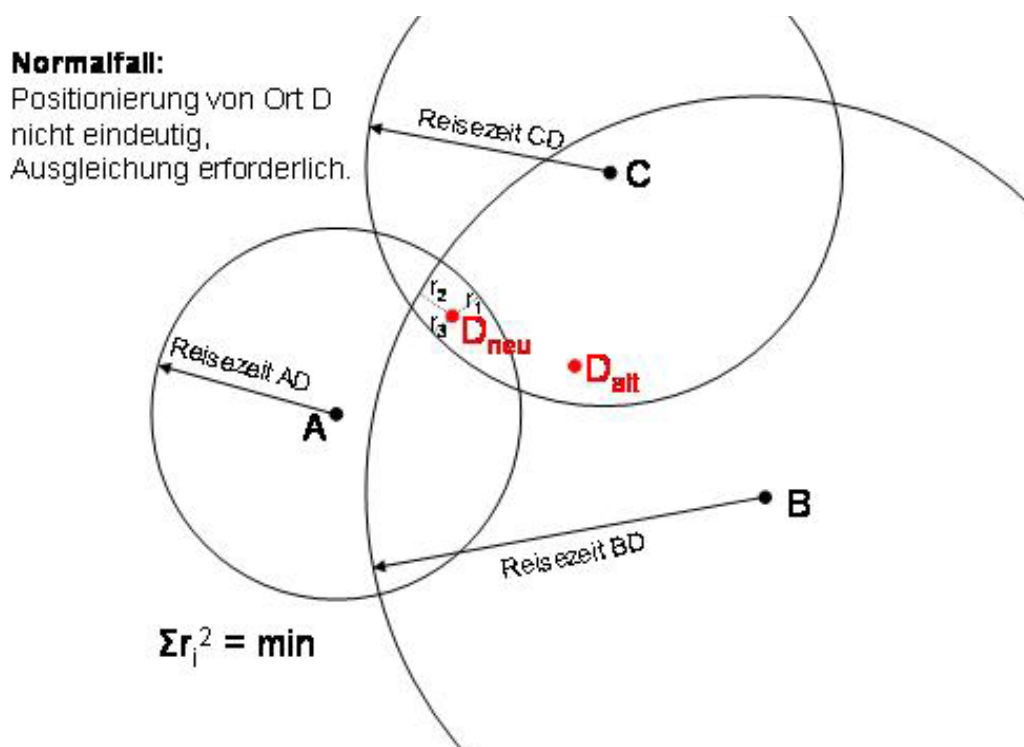
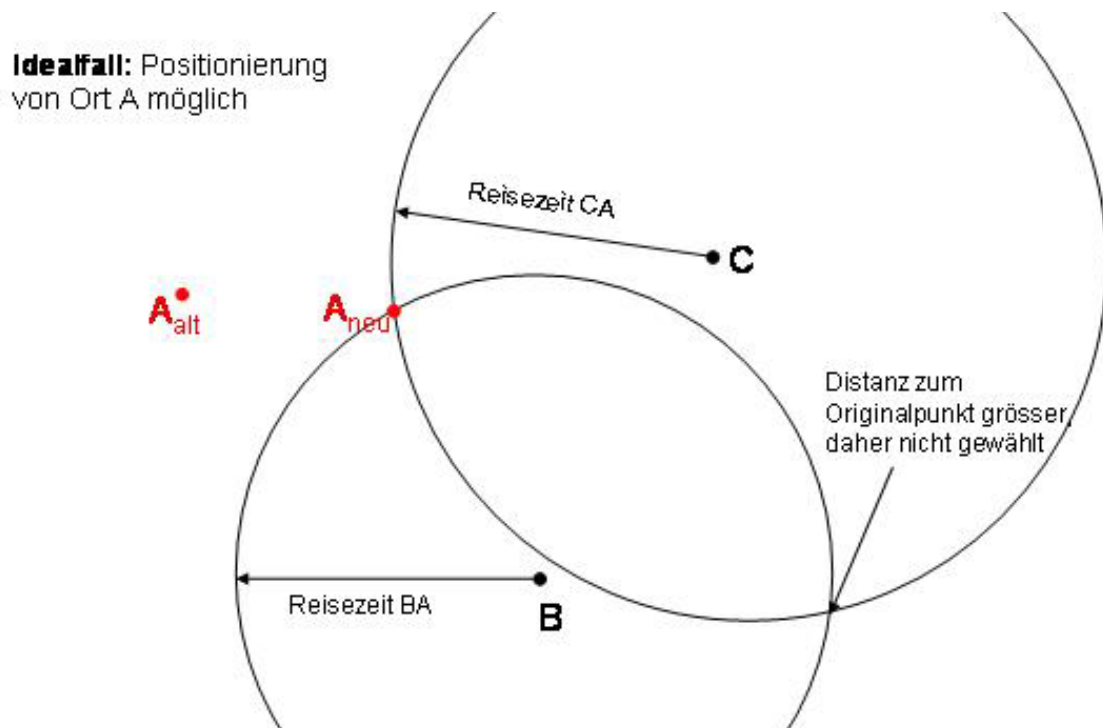
Werden drei Ortschaften berücksichtigt, kann man mit den zugehörigen drei Reisezeiten, resp. Entfernungen, die neuen (Zeit-) Positionen eindeutig herleiten.

Ab vier Ortschaften entstehen geometrische Widersprüche, da die Fahrdauer zwischen den Ortschaften nicht proportional zum Abstand ist. Das Programm sucht in diesen Fällen eine Lösung, welche neue Punktpositionen liefert, so dass die Unterschiede (Residuen) zwischen den geometrischen Entfernungen in der Karte und die aus der Reisezeit berechneten Entfernungen möglichst klein bleiben (siehe Abbildung 4).

Dafür verwendet man die Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate. Sie liefert eine Lösung mit einer Minimalsumme der Quadrate der Residuen.

¹ ArcGis ist eine von der Firma ESRI entwickelte Software für geodätische Informationssysteme.

Abbildung 4 Positionierung der Orte mit LTOP



Die Software LTOP ist in der Schweiz die Standardsoftware für geodätische Applikationen. Sie bestimmt Koordinaten von Punkten auf Grund einer beliebigen Menge von Beobachtungen, im vorliegenden Fall von Entfernungen. Die Software kann die einzelnen Beobachtungen durch Eingabe der Standardabweichung gewichten.

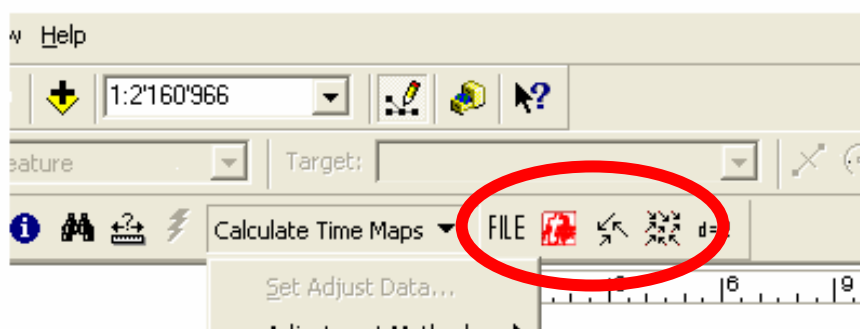
Für die Berechnung der Zeitkarte wird in dieser Arbeit die beschriebene Ausgleichung in zwei Schritten durchgeführt (siehe Abschnitt 2.4.7). Im ersten Schritt werden die Zeitentfernungen zwischen den wichtigsten Knotenpunkten des Verkehrsnetzes ausgeglichen. Im zweiten Schritt werden die Koordinaten der weiteren Ortschaften nur unter Berücksichtigung der Zeitentfernung zu den Knotenpunkten (Gewichtabnahme für grosse Entfernungen, damit deren Einfluss nicht überbewertet wird) berechnet.

LTOP liefert so eine optimale Position für alle Ortschaften, die die zeitliche Distanz zwischen den Punkten mit möglichst geringer Verzerrung wiedergibt.

2.4.2 In vier Schritten zu den Inputdaten für die Zeitkarte

Zur einfacheren Handhabung wurden in ArcMap die nachfolgend beschriebenen Buttons mit ihren entsprechenden Funktionsweisen implementiert (siehe Abbildung 5). Mit deren Hilfe werden aus den Eingabedaten die notwendigen Daten für die Visualisierung in ArcMap generiert (Dolci, 2004).

Abbildung 5 Befehle in ArcMap für die Generierung der Inputdaten



1. Prepare the LTOP-Input Files



Im ersten Schritt werden die aufbereiteten Daten geladen, wobei die Auswahl der Rubriken nach weiteren Kriterien erfolgte (siehe Kapitel 2.4.6). Es werden zwei Datensätze im .txt-Format benötigt. Zum einen die gewählten Ortschaften mit ihren geographischen Koordinaten und andererseits die Reisebeziehungen (Quelle-Ziel) mit den dazugehörigen Reisezeiten (siehe Abbildung 6). Mit einer Annahme von einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 60km/h wird die Reisezeit (in Minuten) in eine virtuelle Distanz (Meter) umgerechnet. Die Reisezeit mit 1000 multipliziert ergibt demnach die gesuchte Distanz zwischen zwei betrachteten Ortschaften.

Abbildung 6 Eingabedaten

Reisezeiten:

```
Luzern Bern 65 65000
Luzern Delemont 72 72000
Luzern Lausanne 126 126000
Luzern Zürich 40 40000
Luzern Basel 57 57000
Luzern Genf 161 161000
Luzern Thun 66 66000
Luzern Zug 24 24000
Luzern Fribourg 83 83000
Zug Chur 71 71000
Zug Schaffhausen 62 62000
Zug St.Moritz 133 133000
Zug Solothurn 64 64000
Zug St.Gallen 75 75000
```

Koordinaten:

```
1061.00 Luzern 666428 211288
1711.00 Zug 681518 224954
2196.00 Fribourg 578490 183823
2601.00 Solothurn 606941 228705
2939.00 Schaffhausen 690283 284700
3203.00 St.Gallen 745966 254421
3787.00 St.Moritz 784102 151669
3901.00 Chur 759214 191643
4001.00 Aarau 646202 249151
5002.00 Bellinzona 722299 117177
5192.00 Lugano 717460 96381
6002.00 Brig 642004 129251
6266.00 Sion 593990 119996
6421.00 St.Moritz 784102 151669
```

$$24 \text{ min} \xrightarrow{60 \text{ km/h}} 24 \text{ km} = 24000 \text{ m}$$

2. Berechnung mit LTOP



LTOP berechnet im 2. Schritt die „neuen“ Koordinaten der verwendeten Orte. Um die Fehler, welche aus der Überbestimmtheit resultieren, auszugleichen, wird die Methode der kleinsten Quadrate angewandt (vgl. Abschnitt 2.4.1). Die Stadt Bern wird in allen Berechnungsschritten als Fixpunkt behandelt. Um den Vergleich zwischen verschiedenen Zeitkarten zu ermöglichen, wird zusätzlich das Azimut, d.h. der Winkel zwischen Geographisch Nord und der Verbindung Genf - St. Moritz festgehalten (siehe Abbildung 7).

Abbildung 7 Rahmenbedingungen für die Vergleichbarkeit mehrerer Karten

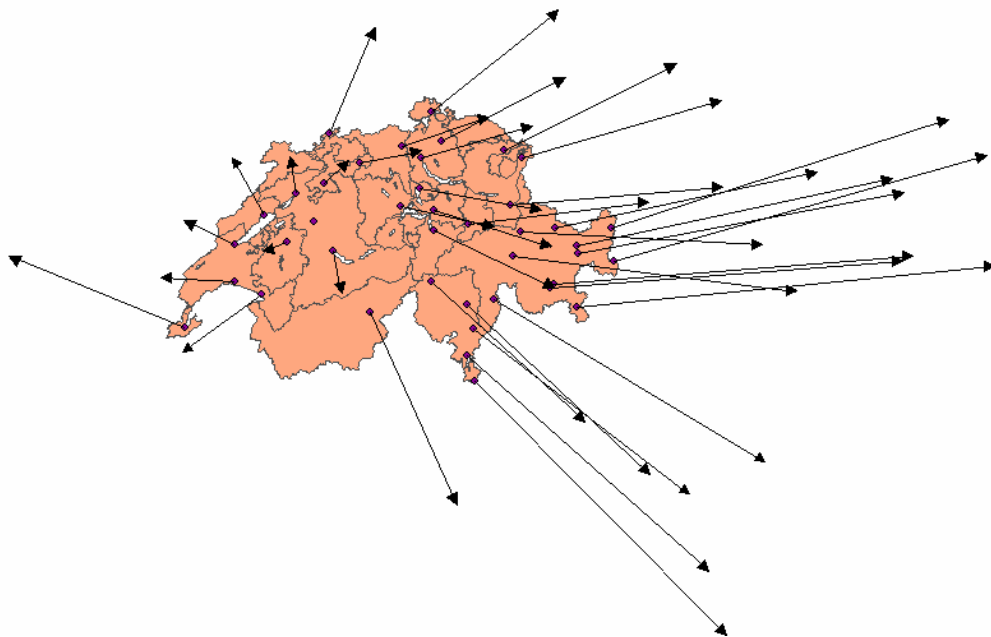


3. Calculate the Linkfile



Aus dem LTOP Output können nun Vektoren generiert werden, welche die ursprünglichen Koordinaten mit den „neuen“ Koordinaten verbinden. Das Linkfile wird dazu benötigt, Transformationen verschiedener topographischer Daten in ArcGis zu erzeugen. Abbildung 8 zeigt die Vektoren, wie sie in ArcMap aus dem Linkfile generiert werden können.

Abbildung 8 Vektoren aus dem Linkfile

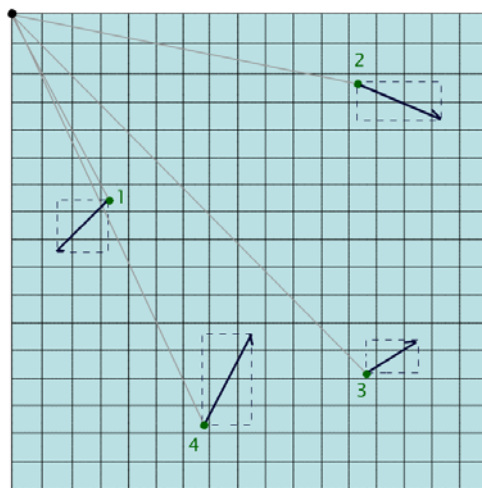


4. Calculate the dense-Linkfile



Im dritten Schritt wurden die Vektoren aus den Inputdaten generiert. Wenn nur wenige Ortschaften in die Berechnung eingehen, kann dies zu starken Verzerrungen führen. Mit dem dense-Linkfile werden zusätzliche Rasterpunkte eines Gitters eingelesen und transformiert (siehe Abbildung 9), so dass die Verzerrung geglättet wird und genauere Resultate möglich werden.

Abbildung 9 Funktionsweise des dense-Linkfile

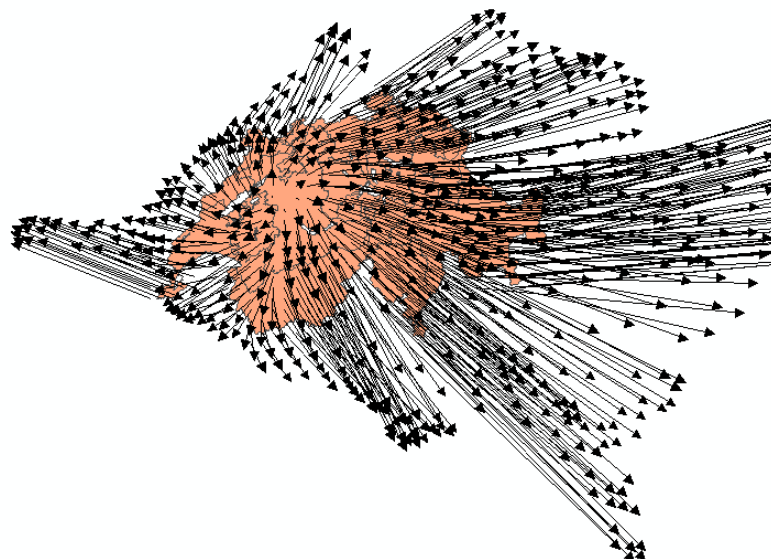


$$\Delta x = \frac{\sum_{i=1}^n p \cdot \Delta x_i}{\sum_{i=1}^n p}$$

$$\Delta y = \frac{\sum_{i=1}^n p \cdot \Delta y_i}{\sum_{i=1}^n p}$$

,mit

$$p = \frac{1}{d^3}$$



Quelle: Dolci (2004)

2.4.3 Anwendung der Inputdaten

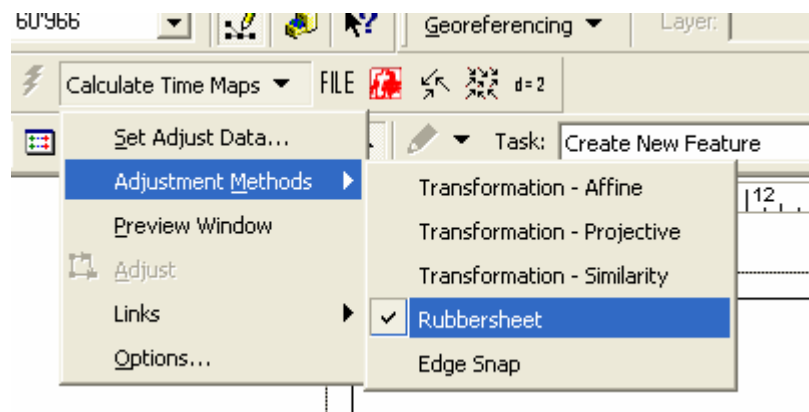
Die Outputdaten der Berechnung der „neuen“ Koordinaten werden in einem weiteren Schritt auf eine Form angewendet, welche grundsätzlich frei wählbar ist. In ArcMap werden ein oder mehrere Shapefiles eingefügt (im vorliegenden Fall die Landesgrenze der Schweiz). Als nächstes wird die Berechnung beim **Editor** mit **Start Editing** gestartet (siehe Abbildung 10).

Abbildung 10 Befehle für die Erstellung der Zeitkarte



1.

2.



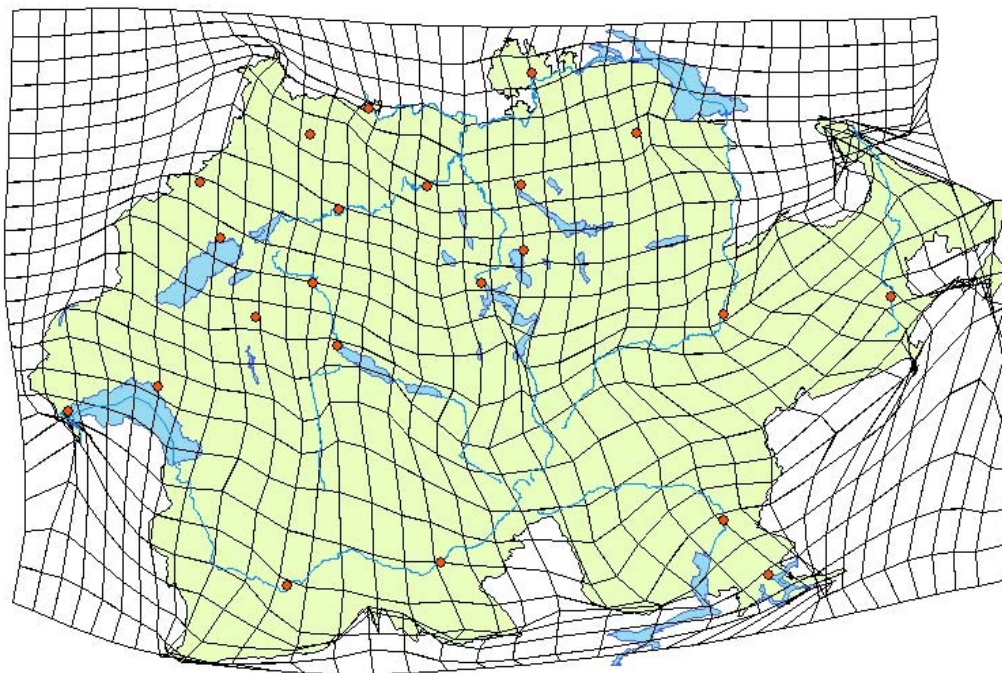
Nun kann unter **Calculate Time Maps** mit der Erstellung der Karte begonnen werden: In **Set Adjust Data** werden die zu verzerrenden Layer, d.h. diejenigen Daten, auf welche die Linkfile-Daten angewendet werden sollen, ausgewählt. Die Transformationsmethode wird im nächsten Schritt unter dem Befehl **Adjustment Methods** festgelegt. Die besten Resultate für Zeitkarten werden mit der **Rubbersheet**-Transformation erzielt. Beim Menübefehl **Optionen** soll für die Rubbersheet-Funktion zusätzlich die **Natural Neighbour** Methode gewählt werden. Um anschliessend die Kartenerstellung zu beginnen muss unter **Links** das gewünschte Linkfile, resp. dense-Linkfile geöffnet werden. Das temporäre Ergebnis entspricht Abbildung 7/8. Die Transformation der gewählten Form geschieht mit dem Befehl **Adjust**. Das Resultat ist eine – entsprechend den Linkfile Daten – transformierte Form (Dolci, 2004).

2.4.4 Lesbarkeit der Karten

Die Ausgangskarte besteht lediglich aus der Landesgrenze der Schweiz, welche aufgrund des Linkfiles, d.h. der Vektoren aus dem LTOP Output, verzerrt wurde.

Um die Aussagen der Zeitkarten besser wahrnehmbar zu machen, wurden noch die beiden Attribute Seen und Flüsse in die Karten hinzugefügt. Sie ermöglichen eine bessere Orientierung in der verzerrten Schweiz. Die Verzerrungen werden durch ein Raster mit einer ursprünglichen Rasterlänge von 10km x 10km deutlich hervorgehoben (siehe Abbildung 11). Zusätzlich sind die Ortschaften entsprechend ihrer Grösse, resp. ihrer Bedeutung, hervorgehoben. Auf weitere Attribute wird verzichtet, da die Lesbarkeit der Karten wieder abnehmen würde. Die Beschriftung der einzelnen Ortschaften wird nur auf Karten mit kleinem Massstab vorgenommen, damit die grundlegende Aussage der Zeitkarte – die Reisedauer – nicht vernachlässigt wird.

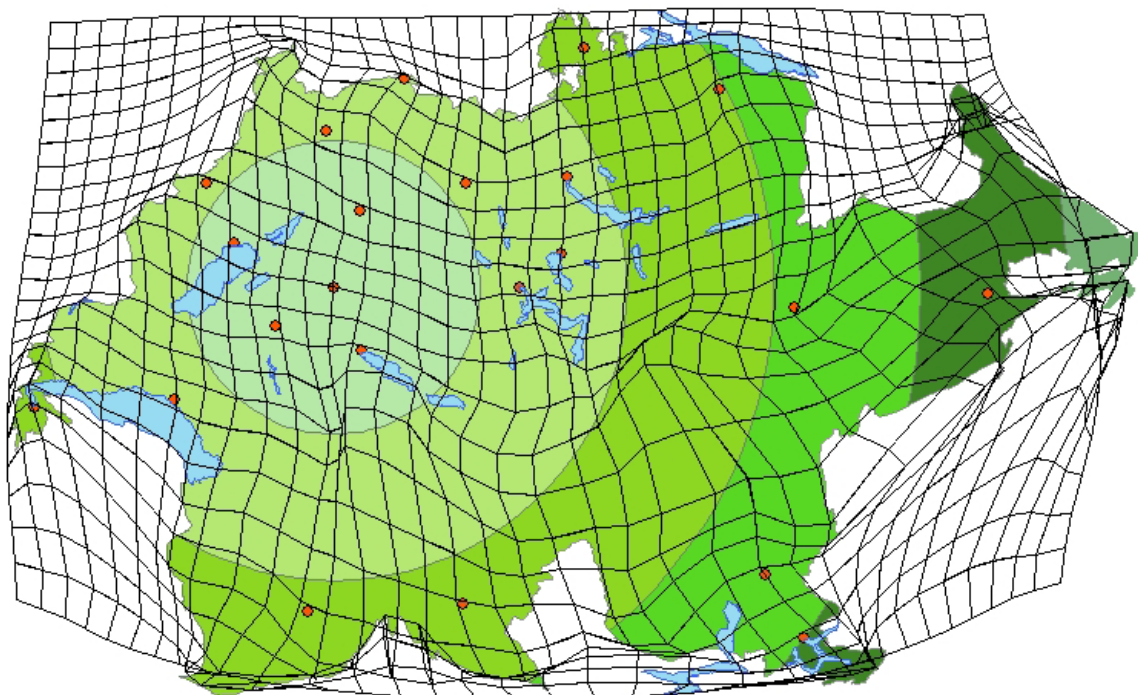
Abbildung 11 Karte mit zusätzlichen Attributen



2.4.5 Verschiedene Darstellungsmöglichkeiten

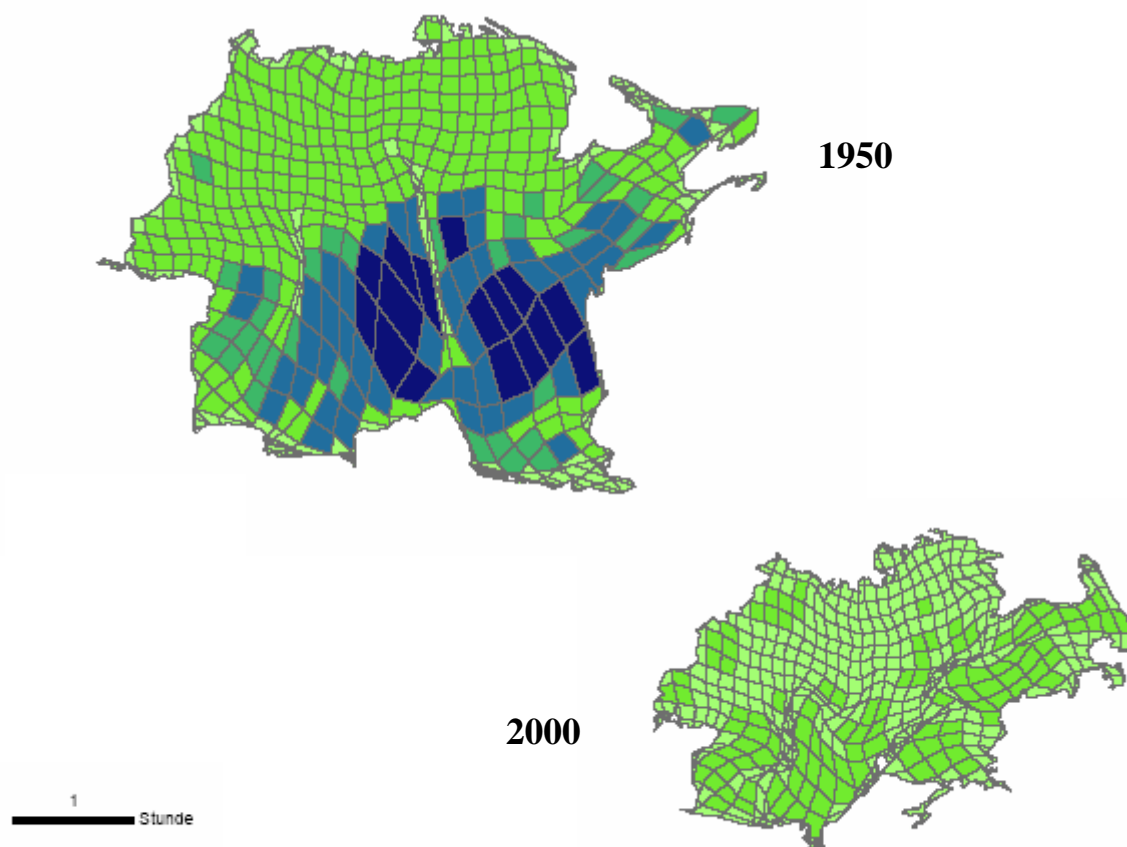
Neben der Zeitkarte, welche anhand der durchschnittlichen Reisezeiten im jeweiligen Jahr generiert wurde, sind noch weitere Darstellungsmöglichkeiten denkbar. Die effektiven Reisezeiten von einem bestimmten Quellort sind, wie eingangs schon erwähnt wurde, mit Isochronenkarten darstellbar. Diese Isochronen sind auf einer unverzerrten (tatsächlichen) Karte von der Reisezeit abhängig. Somit werden in Regionen mit kürzeren Reisezeiten und auch höherer Erreichbarkeit weiter entfernte Isochronenlinien erwartet, da in der gleichen Zeit eine grössere Distanz zurückgelegt werden kann. Die Abstände in einer bereits an die Reisezeiten angepassten Karten bleiben hingegen gleich (siehe Abbildung 12), da im vorliegenden Fall mit einem Abstand der Isochronen von 1 Stunde gearbeitet wurde, was bei der angenommenen Durchschnittsgeschwindigkeit von 60km/h einer „virtuellen“ Distanz von 60km entspricht.

Abbildung 12 Reisezeiten ab Bern (1950)



Eine weitere Möglichkeit ist die farbliche Betonung in Abhängigkeit der Gittergrösse. Diese Variante der Darstellung unterscheidet zwischen Gebieten mit „langsamen“ Reisegeschwindigkeiten und „schnelleren“ Bereichen indem die Fläche eines Gitterviereckes berechnet wird und entsprechend diesem Wert klassifiziert wird. Grundlage der Überlegung ist, dass die gesamte Fläche der Schweiz anhand der Reisezeiten deformiert wurde. Die „länger“ gewordenen Verbindungen deuten auf langsameres Vorwärtskommen hin, sei es durch Umwege, welche gefahren werden müssen, oder kleinere Geschwindigkeiten. Dasselbe Prinzip ist auf die Fläche der Gitterquadrate übertragbar. In Abbildung 13 sind die Hauptachsen Nord-Süd über den Gotthard und die Ost-West-Verbindung gut erkennbar. Diese Abschnitte sind dementsprechend gut ausgebaut und ermöglichen zum Teil erheblich schnellere Reisegeschwindigkeiten als in benachbarten Gebieten. Wie aus der Abbildung 12 ersichtlich wird, sind die Reisezeiten im Jahr 2000 gesamtschweizerisch und insbesondere durch die Alpen wesentlich gesunken, resp. die Reisegeschwindigkeiten gestiegen.

Abbildung 13 „Geschwindigkeitskarte“ für die Strasse



2.4.6 Eingabedaten für LTOP

Im Kapitel 2.4.3 wurde veranschaulicht, wie neue Koordinaten für die Erstellung der Zeitkarten generiert werden. Die „neuen“ Koordinaten und ihre Plausibilität sind abhängig von den Eingabedaten. Die Beurteilung dieser Eingabedaten kann erst anhand der Darstellung der Linkfiles, genauer gesagt anhand der resultierenden Vektoren, in ArcMap erfolgen. Aus diesem Grund wurde bei der Suche nach den optimalen Eingabedaten nur mit dem Datensatz der Reisezeiten der Strasse von 1950 gearbeitet. Zum Vergleich wurden bei einer akzeptablen Lösung zusätzlich die Daten vom Jahr 2000 beigezogen. Aus dem Vergleich der beiden Zeitkarten konnten Aussagen über etwaige Fehlerquellen und Verbesserungsmöglichkeiten gemacht werden.

Reduktion der vorhandenen Datensätze

In einem ersten Versuch wurden von den knapp 8,4 Mio. vorhandenen Verbindungen nur diejenigen ausgewählt, welche die Bezirkshauptorte beinhalten. Aus dieser 186x186-Matrix wurden Zeitkarten generiert. Die ersten Resultate zeigten jedoch Fehler auf, da einige Ortschaften (im Wallis) nicht mehr innerhalb der verzerrten Schweiz abgebildet wurden. Die neuen Koordinaten der betroffenen Gemeinden erhielten mit der Linkfile-Funktion vermutlich zuwenig Gewicht, da in diesen Gebieten bedeutend weniger Bezirkshauptorte liegen als z.B. im Mittelland. Mit der Anwendung des dense-Linkfile konnte dieses Problem nahezu behoben werden.

In einem zweiten Schritt wurde überprüft, ob mit einer Verdichtung der gewählten Gemeinden, insbesondere in den Grenzkantonen Wallis, Tessin und Graubünden eine Verbesserung erzielt werden könnte. Nicht beachtet wurde, dass bei einer Erhöhung der Gemeindezahl auch die Fehler aus der Ausgleichsrechnung erhöht werden.

Um den störenden Einfluss des relativ grossen Fehlers aus der Ausgleichsrechnung – insbesondere bei Verbindungen über grosse Distanzen wie z.B. Genf – St. Moritz zu minimieren, wurden neue Überlegungen angestellt: Zuerst sollte eine Auswahl von Orten für ein übergeordnetes Netz entsprechend den Reisezeiten verzerrt werden (siehe nächster Abschnitt). Diese neuen Koordinaten wurden in einem ersten Versuch als fix angenommen. In einem weiteren Schritt wurden kleinere Gemeinden an das übergeordnete Netz angehängt. Um lange Verbindungen mit entsprechend hohen Reisezeiten zu vermeiden, da diese zu grösseren Anteilen an der Fehlerrechnung führen, wurden nur Verbindungen berücksichtigt, welche unterhalb einer festgelegten Reisezeit liegen. Für die Auswahlkriterien sind die Informationen und Zeitangaben aus dem Jahr 2000 verwendet worden.

Übergeordnete Orte des ersten Berechnungsschrittes:

Das gewählte übergeordnete Netz (siehe Abbildung 14) beinhaltet Orte, welche:

- Als Kantonshauptorte gelten. Kantonshauptorte, welche räumlich nahe beieinander liegen, werden nicht berücksichtigt (z.B. Appenzell, Herisau)
- Mehr als 20'000 Einwohner haben, wobei bei Ballungszentren (z.B. Luzern, Kriens, Emmen) nur der wichtigste Ort gewählt wird.
- Die räumliche Verteilung verbessern (z.B. Brig, St. Moritz)

Abbildung 14 Übergeordnete Gemeinden



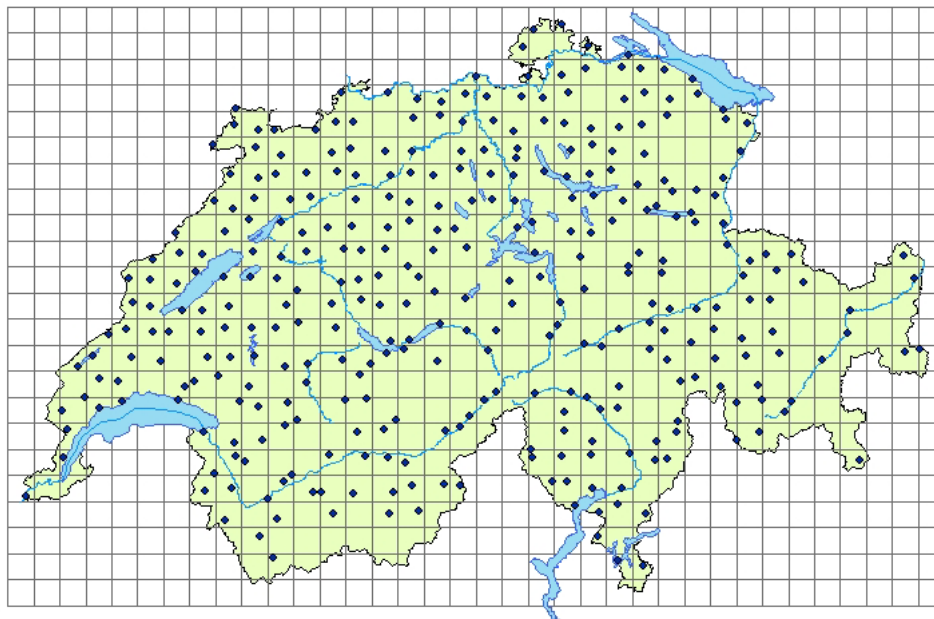
Aus dieser Auswahl resultierte ein Netz mit 22 Orten, was zu einem Datensatz mit 462 Werten führt. Weitere Hauptorte in der Innerschweiz, wurden nicht berücksichtigt, da sie das Gitter unleserlich verzerrten und somit keine Aussage über die Reisezeiten in diesen Bereichen

zuliessen. Das Ziel bestand darin, für den ersten Schritt eine akzeptable Karte zu generieren, welche die lokalen Verzerrungen für den zweiten Schritt zuliessen.

Wahl des untergeordneten Netzes:

Die Auswahl der weiteren Gemeinden erfolgte nach rein räumlichen Kriterien. Damit keine Region der Schweiz zu wenig stark gewichtet wird und das Mittelland (die Region mit den höchsten Einwohnerzahlen und der höchsten Gemeindedichte) nicht zu stark in die Berechnungen einfließt, wurde ein Raster über die Schweiz gelegt (Rasterlänge 10km) und aus jedem Rasterfeld, sofern möglich, per Zufall eine Ortschaft gewählt (siehe Abbildung 15).

Abbildung 15 untergeordnetes Netz mit Gitter

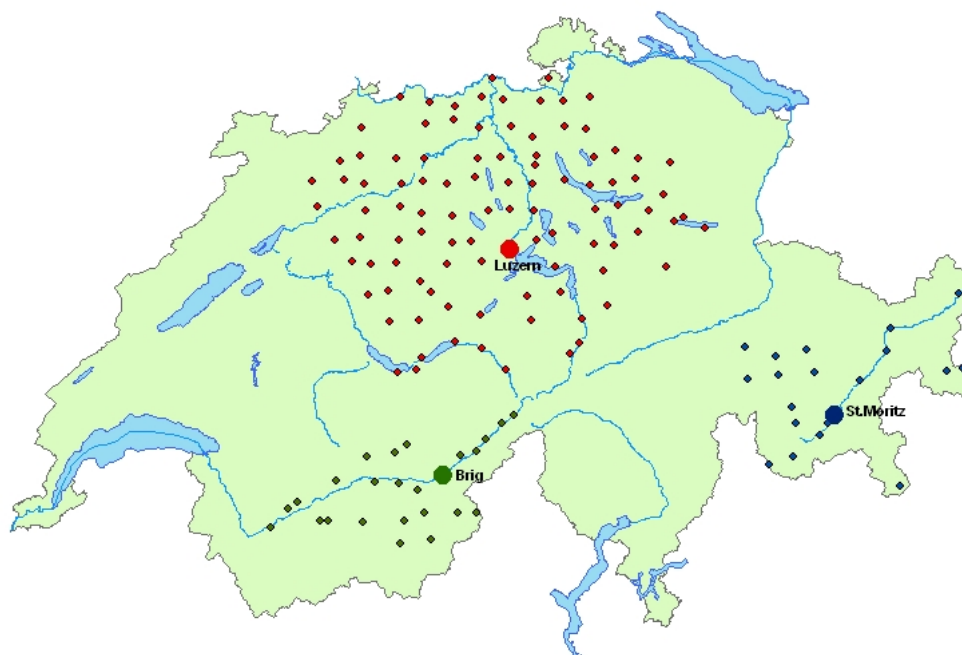


Um die Ortschaften geeignet an das übergeordnete Netz anzubinden, wurde eine mittlere Reisezeit festgelegt, in welcher ein Ort aus dem übergeordneten Netz zu erreichen ist. Es wurden die Reisezeiten aus dem Jahr 2000 verwendet.

Im Jahr 2000 betrug die längste Reisezeit auf der Strasse zwischen einer (gewählten) Gemeinde zum nächsten Ort des übergeordneten Netzes 62 Minuten. Aus dieser Verbindung Fusio - Bellinzona folgt, dass das übergeordnete Netz von jeder (gewählten) Gemeinde in mindestens 62 Minuten erreicht werden kann. Aus Gründen der Fehlerminimierung bei der Ausgleichsrechnung durch zu grosse Eingangsdatensätze werden deshalb nur diejenigen Verbindungen

dungen berücksichtigt, welche kürzere Reisezeiten als die festgelegten 62 Minuten haben (siehe Abbildung 16). Somit bleibt die Verzerrung lokal, da der Einfluss langer Distanzen, resp. langer Reisezeiten wesentlich reduziert wird. Im Mittelland werden aufgrund der hohen Gemeindedichte und der Topographie viele Gemeinden an mehrere Knotenpunkte angeschlossen.

Abbildung 16 Reduktion der Orte anhand der Reisezeit von max. 62min im Jahr 2000: Beispiel Luzern, Brig und St. Moritz mit den jeweils angebundenen Ortschaften.



Das gewählte Filterkriterium „Reisezeit“ musste anschliessend auf die weiteren Datensätze der vorherigen Jahre übertragen werden. Um die Datensätze der anderen Jahre ebenfalls reduzieren zu können, wurde aus dem 2000er Datensatz eine Stichprobe von 10 Verbindungen generiert, welche eine Reisezeit von 62 Minuten haben. Daraufhin wurden die Reisezeiten dieser Verbindungen je betrachtetes Jahr gemittelt (Anhang 1). Diese Mittelwerte der einzelnen Jahre wurden wiederum als Filterkriterien für das jeweilige Jahr verwendet, d.h. die Datensätze der jeweiligen Jahre beinhalten nur Verbindungen mit kürzeren Reisezeiten. Um sicherzugehen, dass die Anbindungen an das übergeordnete Netz mit den ermittelten Reisezeiten sichergestellt werden, wurden die kritischen Verbindungen einzeln überprüft.

2.5 Resultate

Die Resultate der Zeitreihen 1950-2000 für den IV sowie für die Schienendaten sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Dabei erkennt man, dass das Schienenangebot, genauer gesagt die Reisezeiten der Schiene von 1950 wenig der Schweizer Topographie entsprach und sich im Laufe der Jahre mehr angepasst hat. Diese Form ist dadurch zu erklären, dass nur 22 Ortschaften (diejenigen des ersten Berechnungsschrittes) in der Darstellung berücksichtigt wurden. Der Versuch, die Gemeinden aus dem zweiten Berechnungsschritt miteinzubeziehen wurde fallengelassen, weil die zum Teil sehr hohen Zu- und Abgangszeiten von den Bahnhöfen die Schweiz in einem Ausmass verzerren, dass keine sinnvolle Interpretation mehr möglich ist.

Bei beiden Reihen (IV und ÖV) sind gewisse Merkmale ersichtlich. So ist z.B. die Eröffnung des Gotthardstrassentunnels in Form einer Verkürzung der Strecke Mittelland - Tessin erkennbar (1980). Die aktuellsten Karten weisen nur geringe Unterschiede auf, bei genauer Betrachtung wird ersichtlich, dass die Reisezeiten des Individualverkehrs stagnieren und auf gewissen Strecken (z.B. Genf - Lausanne) infolge Verkehrsüberlastung sogar wieder zunehmen.

Abbildung 17 Kartenreihe IV, 1950-1970

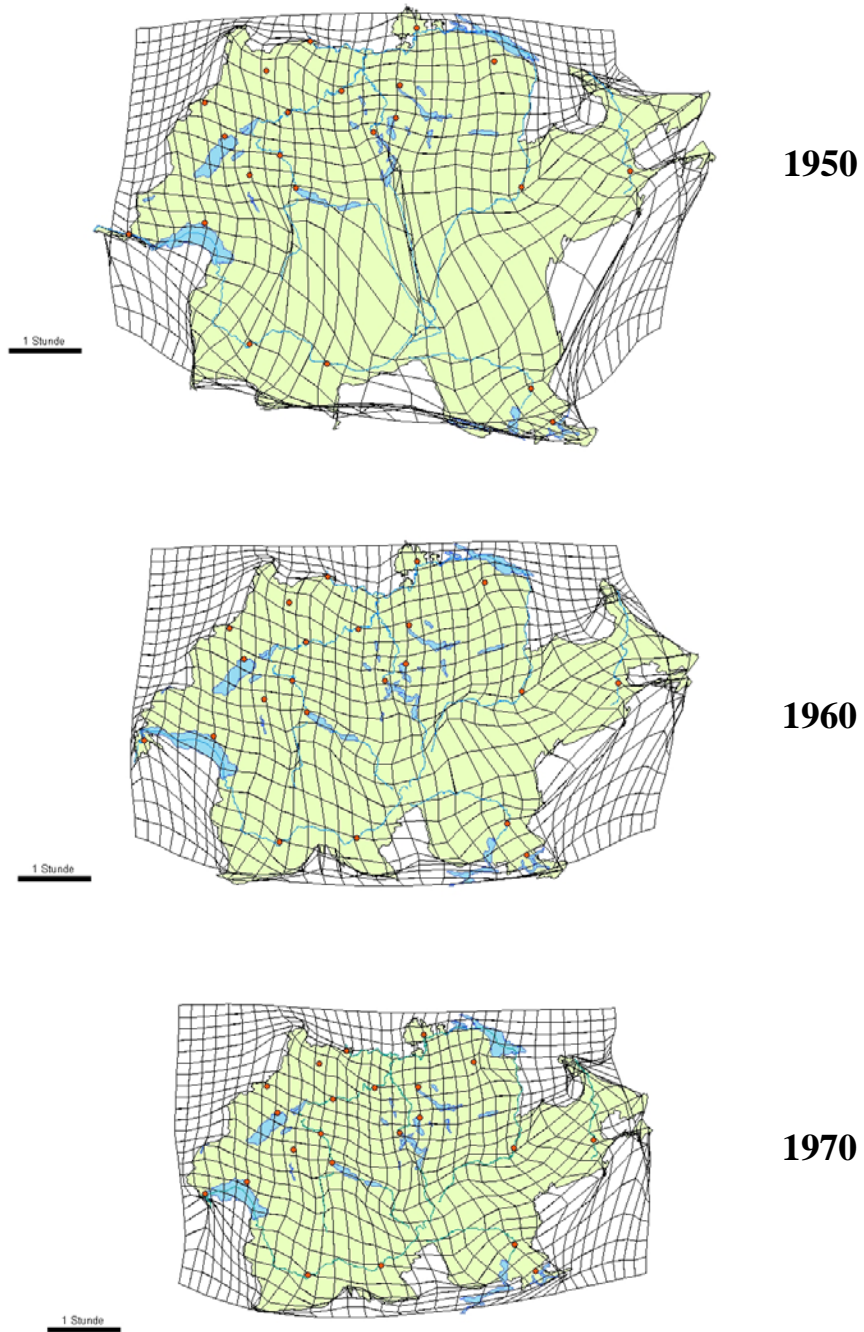


Abbildung 18 Kartenreihe IV, 1980-2000

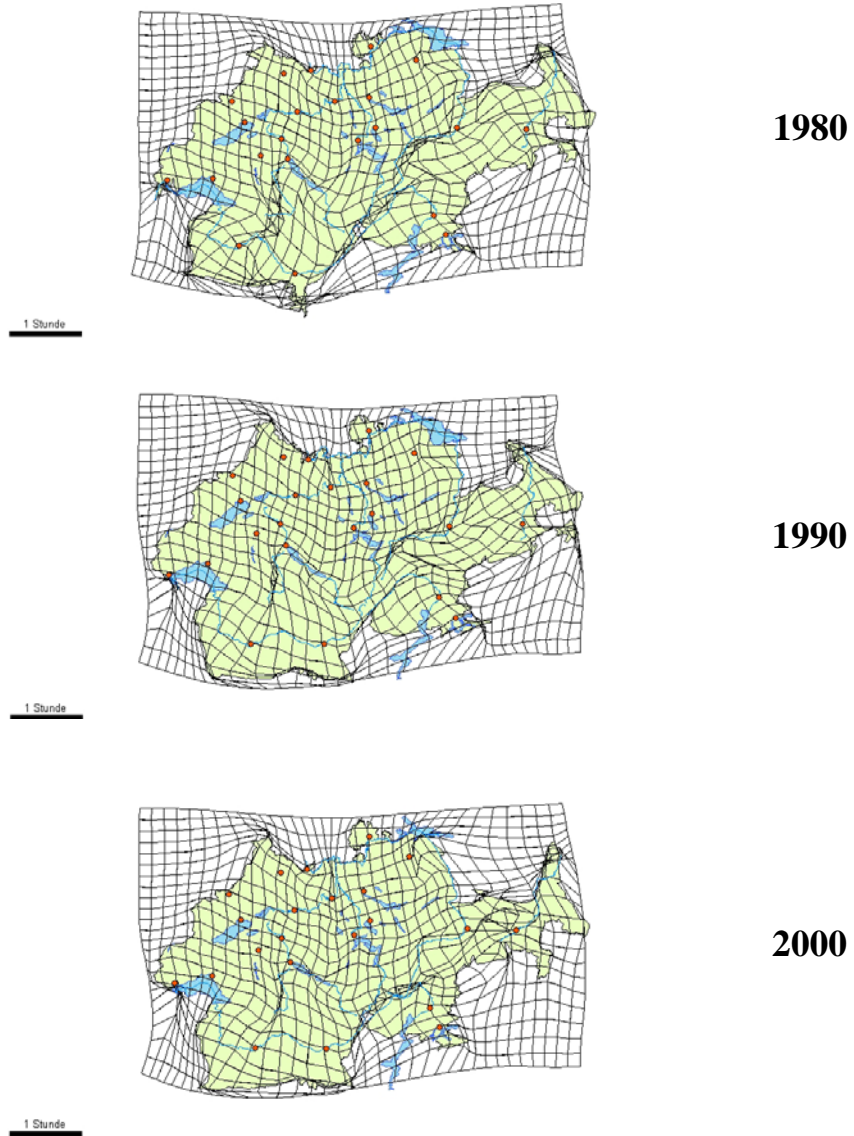


Abbildung 19 Kartenreihe ÖV, 1950-1970

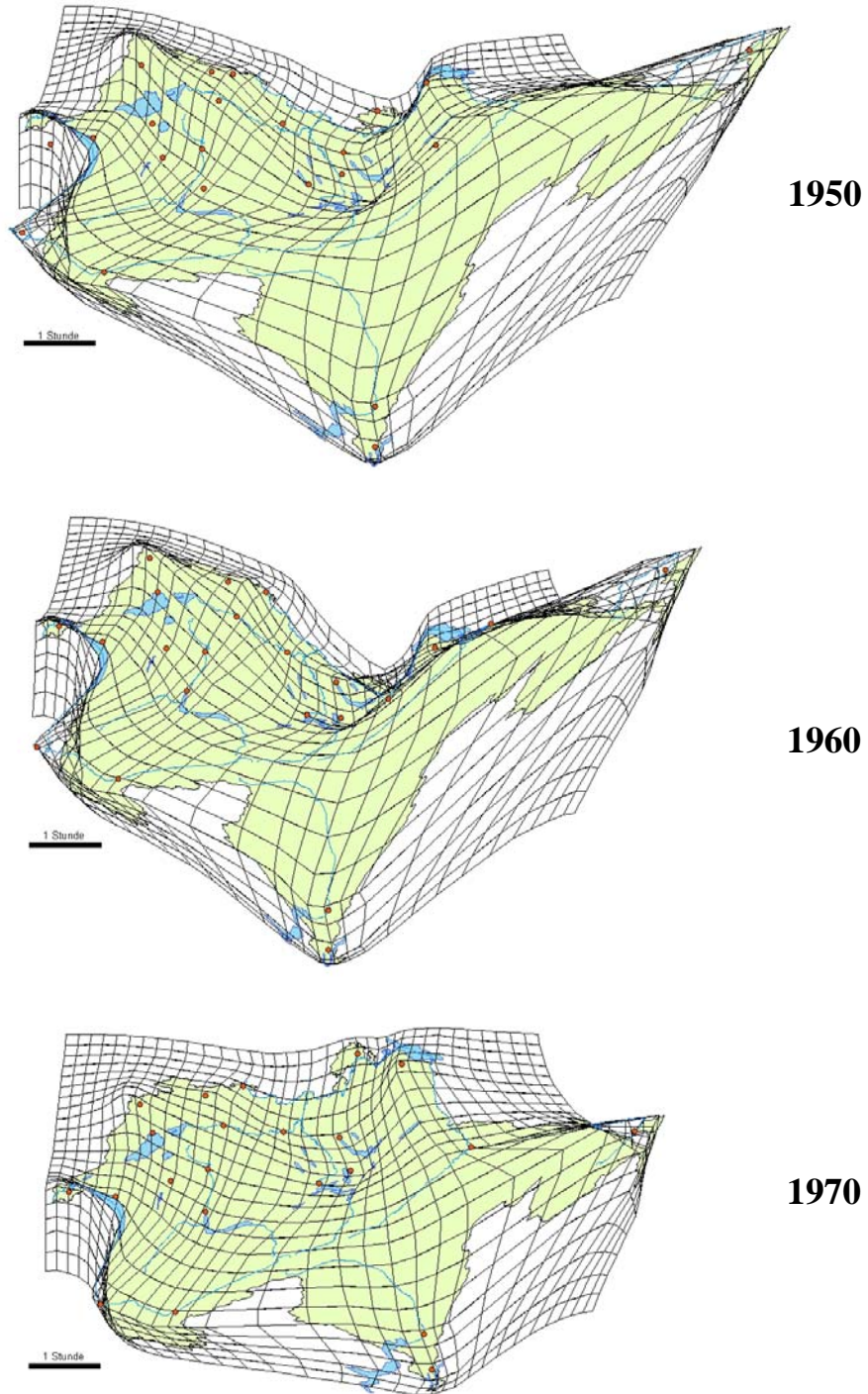
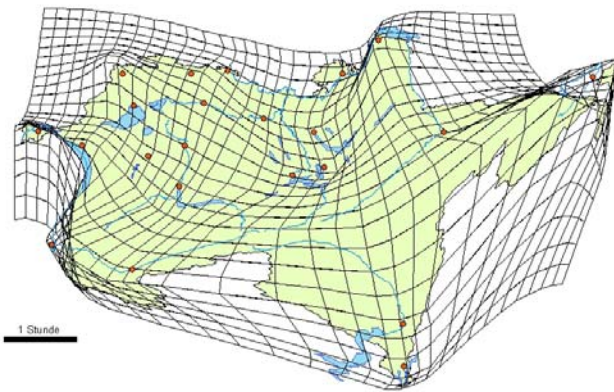
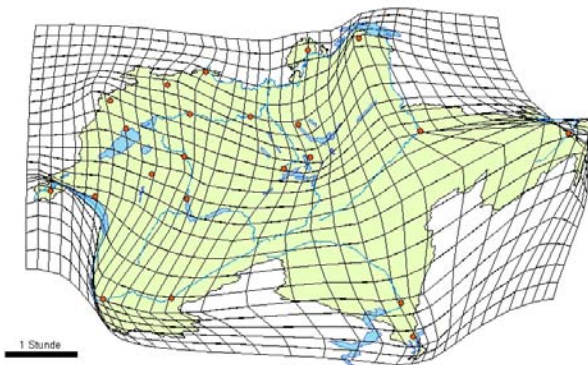


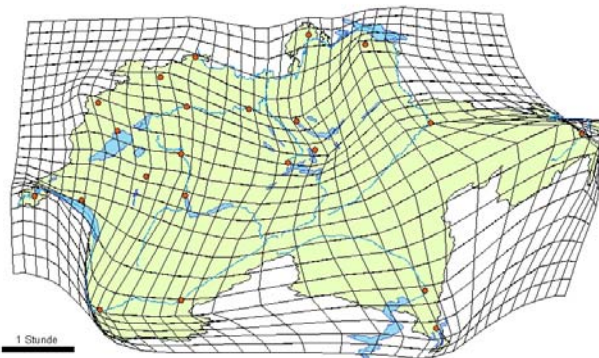
Abbildung 20 Kartenreihe ÖV, 1980-2000



1980



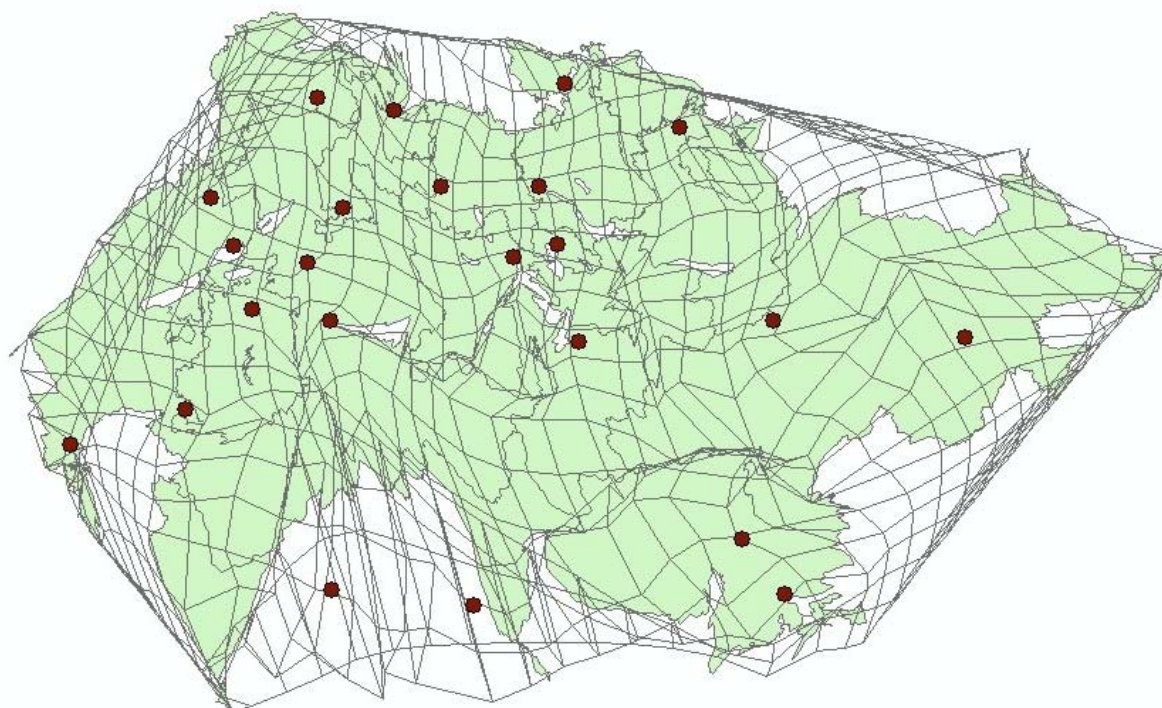
1990



2000

Das Ergebnis der „historischen“ Zeitkarten von 1850-1930 ist nicht zufrieden stellend (siehe Abbildung 21). Da der Prototyp der Zeitkarten auf den Daten von 1950 basiert und der Unterschied zu den älteren Daten markant ist, können die Parametereinstellungen nicht übernommen werden. Der Unterschied der Reisezeiten zwischen den „historischen“ Daten und denjenigen ab 1950 ist aus der Abbildung 1 am Beispiel Luzern - Genf ersichtlich. Die wenigen Strassen und langsamen Fahrzeuge führten zu Reisezeiten, welche ein Vielfaches der heute benötigten Zeit für dieselbe Strecke beträgt. Vermutlich kann dieser Unterschied mit den Einstellungen von 1950 nicht verarbeitet werden und führt deshalb zum Ergebnis in Abbildung 21. Ein weiteres Problem ist der „Umklappeffekt“ an den Grenzen. Mit der Anbindung ans Ausland, indem einige Orte mit den zugehörigen Reisezeiten aus den umliegenden Ländern in die Berechnung einfließen, kann eine Verbesserung erzielt werden. Diese Methode wurde aus Zeitgründen nur auf den Datensätzen von 1950 - 2000 angewendet.

Abbildung 21 Zeitkarte 1888, IV



2.6 Ausblick

Zur weiteren Bearbeitung wird die Behebung des „Umklappeffektes“ des Gitters am Rand der Karten empfohlen. Die Vermutung besteht, dass die Ursache darin liegt, dass die Schweiz isoliert vom Ausland betrachtet wurde. Mit der Berücksichtigung der Reisezeiten ins Ausland kann dieser „Umklappeffekt“ vermindert werden. Bei den in Abbildung 17 abgebildeten Zeitkarten konnte mit der Anbindung des Wallis und des Tessins an Aosta und Saronno eine sichtbare Verbesserung erzielt werden. Bei der weiteren Bearbeitung der Zeitkarten sollten aber auch noch Anbindungen in die anderen Nachbarländer berücksichtigt werden. Es wird insbesondere empfohlen, die Region Ostschweiz - Graubünden sinnvoll mit Orten in Österreich zu verbinden. Eine andere Möglichkeit besteht darin, das Gitter entlang der Landesgrenze auszuschneiden und danach die Transformation anzuwenden. Somit sollte der Umklappeffekt voraussichtlich umgangen werden. Überlappende Verzerrungen innerhalb der Landesgrenze sind aber dennoch zu erwarten.

Um bei den historischen Zeitkarten ein akzeptables Resultat zu erhalten, sollten die Parameter der Ausgleichsrechnung an die grossen Reisezeiten angepasst werden. Zusätzlich wäre eine Überprüfung der Umrechnungsgeschwindigkeit angebracht, da zwischen 1850 und 1930 aufgrund der zur Verfügung stehenden Verkehrsmittel und -wege keine Durchschnittsgeschwindigkeit von 60km/h möglich war (vgl. Abbildung 6). Eventuell würde eine durchschnittliche Reisegeschwindigkeit von 30 km/h ($\text{Reisezeit} \cdot 2000 = \text{virtuelle Distanz}$) eine Verbesserung bewirken. Es wäre auch denkbar, die Geschwindigkeiten den jeweiligen Strassentypen zuzuordnen, indem anhand einer sinnvollen Verkehrsumlegung die gewählten Routen ermittelt werden. Dafür müssen die Verkehrsnetze der jeweiligen Jahre verwendet werden.

Momentan sind nur Punktdaten zufrieden stellend transformierbar. Die Idee wäre, dass in Zukunft auch Rasterdaten in die Verzerrung miteinbezogen werden können, so dass zum Beispiel die Topographie in den Zeitkarten die Orientierung verbessert. Zusätzlich wäre es interessant, die Reisezeiten statt Zweidimensional auf einer verzerrten Karte, Dreidimensional auf einer Schweizerkarte abzubilden. Mit Erreichbarkeiten wurden am IVT ähnliche Darstellungen generiert (Axhausen, Fröhlich, Tschopp und Keller, 2003).

Um die Veränderung der Reisezeiten aufzuzeigen, gibt es die Möglichkeit eine animierte Bildfolge der Karten der einzelnen Jahre mittels **Tracking Analyst** in ArcGis zu erstellen.

Eine weitere Möglichkeit ist die Verbesserung der „Geschwindigkeitskarten“ (siehe Abbildung 13). Indem die Rastergrösse verkleinert wird, kann die Abstufung der verschiedenen Bereiche verbessert werden. Zusätzlich wäre nach der Farbuordnung der einzelnen Git-

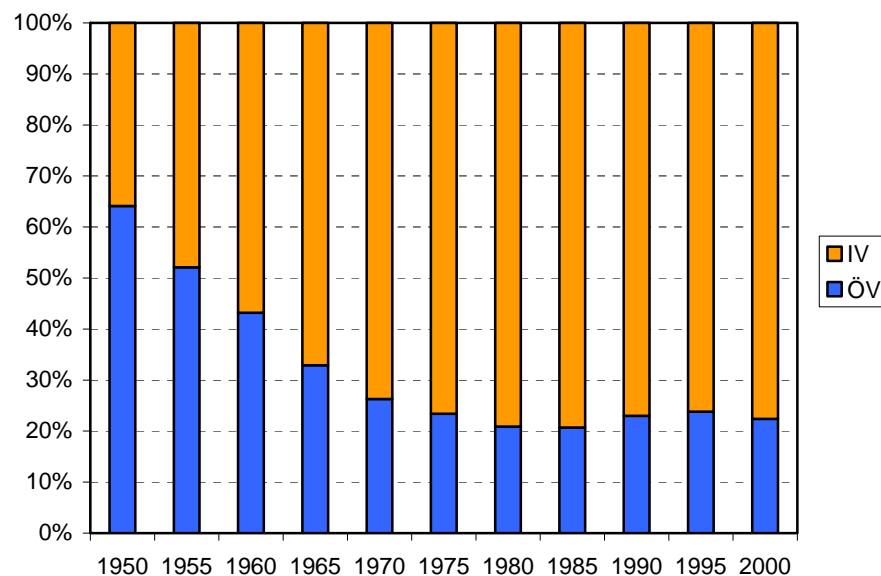
terquadrate eine Rücktransformation in die bekannte Landeskarte denkbar, damit man anhand der geographischen Karte Gebiete verschiedener Geschwindigkeiten erkennen kann.

3 Schätzung eines Verkehrsmittelwahl - Modells der Schweiz von 1970 bis 2000

3.1 Aufgabenstellung

Der Modal Split hat sich in den letzten Jahrzehnten verändert. Abbildung 22 zeigt, dass sich der Anteil der Benutzer des öffentlichen Verkehrs zwischen 1950 und 2000 mehr als halbiert hat (Quelle: Bundesamt für Statistik). Dafür gibt es verschiedene Gründe. Einerseits stieg das verfügbare Einkommen, Autos wurden für jedermann erschwinglich und das Strassennetz wurde ausgebaut. Andererseits wurden die Angebotselemente des öffentlichen Verkehrs verändert (z.B. Bedarfsfahrplan - Taktfahrplan, Einführung der S-Bahnen). Anhand der gemeindefeinen Pendlerzahlen und Angaben zum Angebot des öffentlichen Verkehrs wird untersucht, ob und inwiefern diese Kriterien bei der Wahl des Verkehrsmittels für den Arbeitsweg einen Einfluss haben.

Abbildung 22 Verkehrsmittel - Anteile 1950-2000



3.2 Berechnung und Darstellung der Erreichbarkeit

Um eine Aussage über die Erreichbarkeit eines Ortes machen zu können, werden in der vorliegenden Arbeit Nutzenbasierte Indikatoren verwendet, basierend auf einer mikroökonomischen Nutzentheorie, bei der eine Person aus mehreren Transportmöglichkeiten diejenige auswählt, welche ihr den grössten Nutzen verspricht (Abschnitt 3.4). Aufgrund der Resultate soll beurteilt werden, welche möglichen Einflussfaktoren eine Auswirkung auf die Verkehrsmittelwahl haben. Erreichbarkeit wird bei diesem Modell als Resultat der verschiedenen Transportentscheidungen verstanden, indem die Summe aller individuellen Entscheidungen betrachtet wird. Die Erreichbarkeit ist grundsätzlich eine Punktinformation und lässt sich nur beschränkt auf andere Regionen übertragen. Aus diesem Dilemma folgte die Überlegung, die betrachteten Pendlerbeziehungen anhand des Start- und Zielortes zu typisieren. Die Erreichbarkeit, im vorliegenden Fall in Form einer Verkehrsmittelentscheidung, wird somit in Funktion des Verbindungstyps ermittelt. Dass ist so zu verstehen, dass bei der Verkehrsmittelwahl berücksichtigt wird, ob der Pendler z.B. in der Stadt wohnt und in der Agglomeration arbeitet.

Die Erreichbarkeit kann auch mit anderen Ansätzen berechnet werden. Weitere Informationen zur Erreichbarkeitsveränderung und deren Darstellung können (Axhausen, Fröhlich, Tschopp und Keller, 2003) entnommen werden.

3.3 Datengrundlagen

Die Untersuchung basiert auf den Daten der COST Aktion 340 des IVT (vgl. Abschnitt 2.2). Dabei sind die Reisezeiten des IV und des ÖV den Modellen der jeweiligen Jahre entnommen. Zusätzliche Attribute wie sinnvolle Zu- und Abgangszeiten wurden in diesem Modell implementiert. Da das ÖV-Modell auf den Fahrplänen der verschiedenen Jahre basiert, können zusätzlich Informationen über die Umsteigehäufigkeit und Umsteigewartezeit gewonnen werden.

Um die Pendlerwege zu typisieren wurden geeignete Kriterien gesucht. Es bot sich an, die Verkehrliche Raumgliederung (V1-V5) ausgehend von der „Raumgliederung 2002“ des ARE (Bundesamt für Raumentwicklung) zu verwenden. Diese Raumaufteilung wurde anhand verkehrlichen Kriterien definiert (siehe Abbildung 23 und Anhang 2)

3.4 Modellansatz

Um eine Verkehrsmittelwahlentscheidung nachzuvollziehen, resp. zu modellieren wird häufig der Ansatz der Nutzenmaximierung verwendet (Ortuzar und Willumsen, 1994). Dieser Ansatz geht davon aus, dass eine Entscheidung in Abhängigkeit des Nutzens, der für den jeweiligen Entscheidungsträger resultiert, getroffen wird. Der Nutzen wird aus zwei Komponenten gebildet: einem messbaren Anteil V_{jq} , der den objektiven Nutzen einer Alternative j der Person q abbildet und einem individuellen Fehler ε_{jq} der aus der subjektiven Wahrnehmung der Person resultiert und das V_{jq} hinsichtlich Mess- und Beobachtungsfehlern relativiert.

Der Gesamtnutzen einer Alternative j für die Person q wird folgendermassen beschrieben:

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq}$$

Die vorliegende Entscheidungsmodellierung der Verkehrsmittelwahl berücksichtigt zwei Alternativen: den Öffentlichen Verkehr und den motorisierten Individualverkehr. Fussgänger, Rad- und Mofafahrer wurden nicht berücksichtigt. Als Entscheidungsmodell bietet sich dafür das (binäre oder) multinominale Logit-Modell (MNL) an, welches im vorliegenden Fall mit der Statistiksoftware SPSS berechnet wurde (Backhaus, Erichson, Plinke und Weiber, 2003).

In der Regel wird angenommen, dass der messbare Nutzenanteil V_{jq} linear ist. Dieser wird anhand einer Konstanten β_0 und weiteren, linearen Attributen χ_n , welche den Einflussvariablen entsprechen, berechnet.

$$V_{jq} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \chi_1 + \dots + \beta_n \cdot \chi_n$$

Die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Fehlerterme wird als Gumbel-verteilt angenommen. Daraus folgt die Auswahlwahrscheinlichkeit einer Person q für die Alternative j mit dem multinominalen Logit-Modell mit:

$$P_q = \frac{e^{(V_{jq})}}{\sum e^{(V_{jq})}}$$

Das Modell wird insofern vereinfacht, indem davon ausgegangen wird, dass jeder die aufgeführten Alternativen zur Verfügung hat und über alle notwendigen Informationen verfügt.

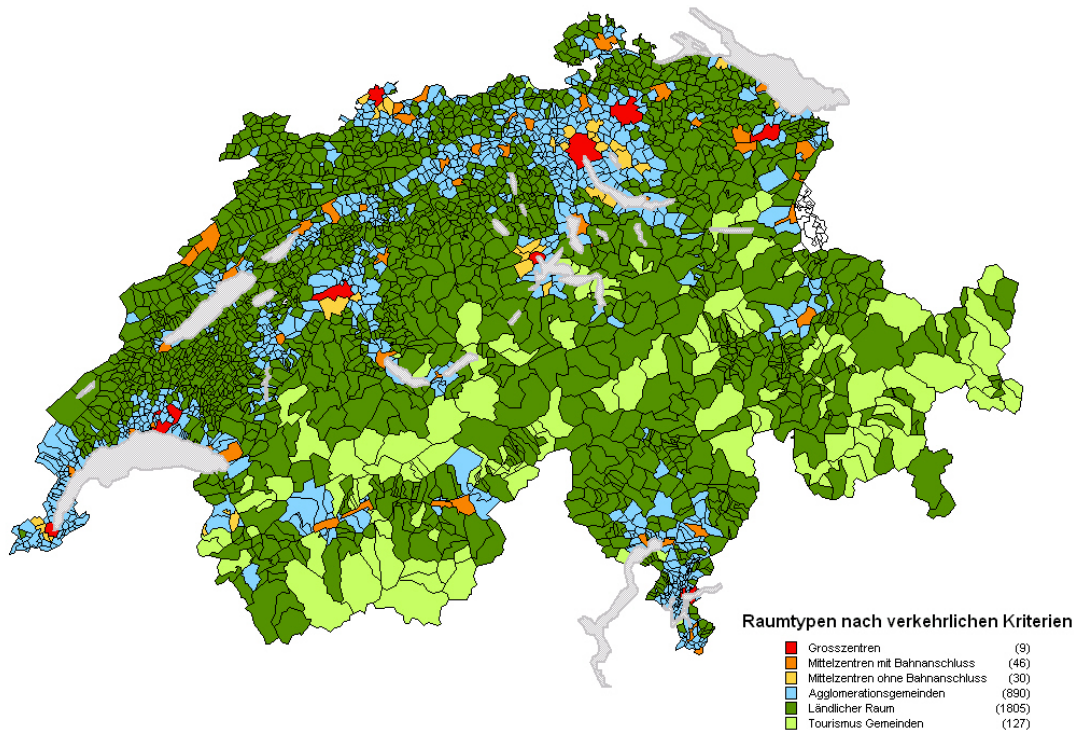
3.5 Variablen der Verkehrsmittelwahlberechnung

Die Aufbereitung der Datensätze erfolgte mit SPSS und MSAccess. Um die Datensätze zu verkleinern wurde pro Jahr eine zufällige Stichprobe mit etwa 20'000 Datensätzen generiert.

Verfügbar waren folgende Angaben:

- Reisezeit IV. (Die Reisezeit des Pendlers mit dem Individualverkehr von Start zu Zielort.)
- Reisezeit ÖV. Sie setzt sich aus Zugangszeit, Abgangszeit, Fahrzeit im Fahrzeug und der Summe aller Umsteigezeiten der betrachteten Verbindung zusammen.
- Reiseweite (IV und ÖV).
- Zugangszeiten ÖV. Dauer vom Abgangsort an die nächstliegende Haltestelle des öffentlichen Verkehrs.
- Fahrzeit im Fahrzeug ÖV.
- Umsteigewartezeit ÖV. (Die Umsteigewartezeit beträgt die Summe aller Umsteigewartezeiten einer Pendlerbeziehung.)
- Abgangszeit ÖV. (Dauer von der Haltestelle zum Zielort.)
- Umsteigehäufigkeit ÖV.
- Bedienungshäufigkeit ÖV. (Anzahl verfügbarer Kurse pro Stunde für die betrachtete Verbindung.)
- Typisierung der Gemeinden anhand der Raumgliederung nach verkehrlichen Kriterien des ARE (siehe Abbildung 23) Zur Übersichtlichkeit wurden daraus 3 Kategorien gebildet: Städte (Gross- und Mittelzentren), Agglomerationen und Ländliche Gemeinden (Ländlicher Raum und Tourismus-Gemeinden).

Abbildung 23 Typisierung der Gemeinden nach Raumtypen



Quelle: ARE (Anhang 2)

Anhand der Kombination der Typisierung der Start- und Zielgemeinden wird zwischen 9 (3x3) verschiedenen Verbindungstypen unterschieden.

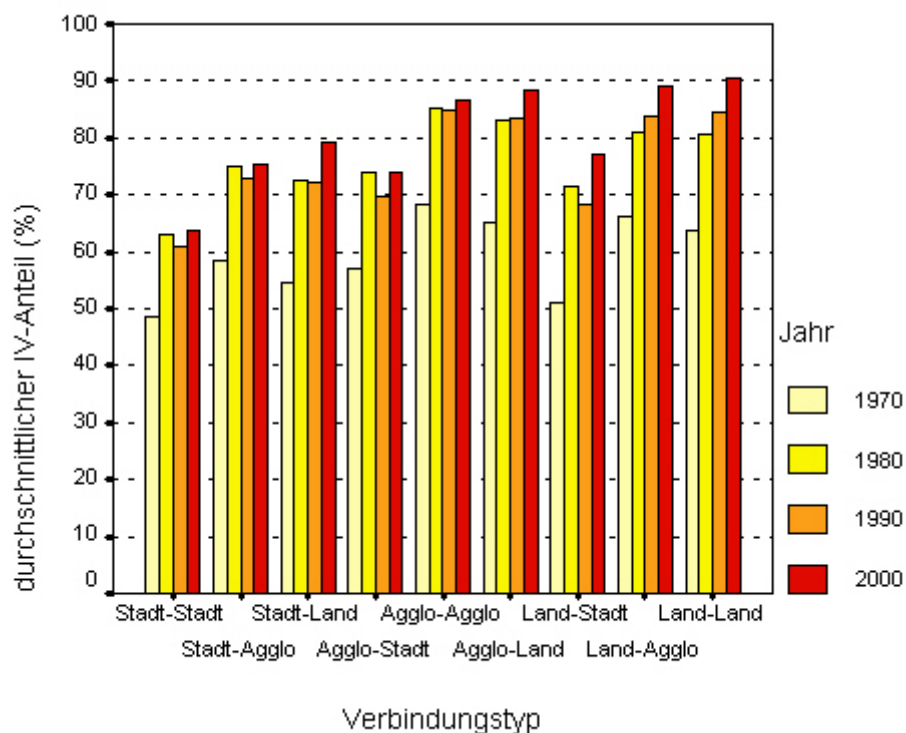
Weitere Angaben, welche bei der Verkehrsmittelwahlentscheidung eine wesentliche Rolle spielen, konnten aufgrund Daten- und Zeitmangels nicht berücksichtigt werden. Dazu zählen neben den demographischen Angaben unter Anderem: PW-Verfügbarkeit, GA (oder anderes Abonnement)-Besitz, Zuverlässigkeit, Kosten und Komfort. Daneben wird davon ausgegangen, dass die Personen genügend Informationen und Kenntnis über die beiden Alternativen besitzen („homo oeconomicus“).

In die Modellierung flossen zuletzt 5 Variablen ein: Die Bedienungshäufigkeit, Zu- und Abgangszeiten, die Umsteigehäufigkeit und die Fahrzeitdifferenz, welche aus der Subtraktion der Fahrzeit im Fahrzeug des öffentlichen Verkehrs und der Reisezeit des Individualverkehrs

berechnet wurde ($FZ_{\text{ÖV}} - RZ_{\text{IV}}$). Aufgrund der starken Korrelation von Umsteigezeit und Umsteigehäufigkeit, wurde die Umsteigezeit nicht mitberücksichtigt. Die Zu- und Abgangszeiten konnten im Modell verwendet werden, da sie die Fahrzeitdifferenz nicht direkt beeinflussen. Der Verbindungstyp wurde als zusätzliche Dummy-Variable bei der Verkehrsmittelwahl miteinbezogen. Da dieser weder metrisch noch kategorial skaliert ist, muss für jeden Verbindungstyp ein eigenständiger Koeffizient (Konstante) geschätzt werden.

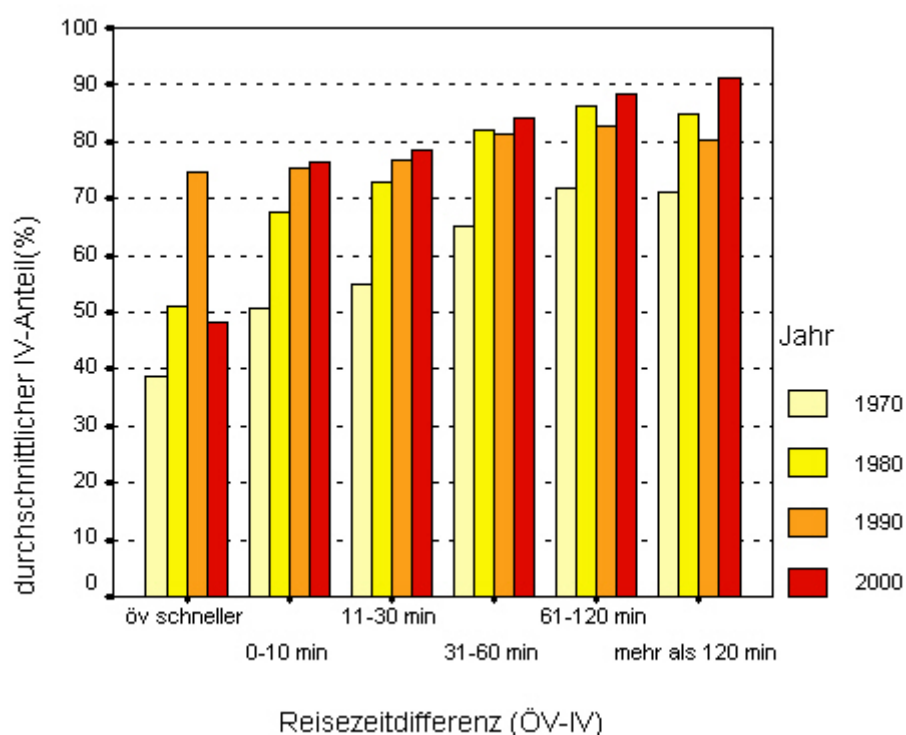
In der Abbildung 24 sind die durchschnittlichen IV-Anteile in Abhängigkeit der Variablen Verbindungstyp aus der Stichprobe dargestellt. Das Auto wird häufiger von Personen aus der Agglomeration und dem ländlichen Raum benutzt. Zudem sind Schwankungen über die verschiedenen Jahre erkennbar, was zum Teil mit der Änderung von Wohn- und Arbeitsortpräferenzen in Zusammenhang gebracht werden kann.

Abbildung 24 IV-Anteile in Abhängigkeit des Verbindungstyps



Die Darstellung mit der Gegenüberstellung der Reisezeitdifferenzen und dem IV-Anteil (siehe Abbildung 25) bestätigt die Vermutung, dass das Auto aufgrund der kürzeren Reisezeit gewählt wird, nur bedingt. Auch in Fällen wo der ÖV gegenüber dem IV schneller ist, wählten die Hälfte der Befragten das Auto. Weitere statistische Daten der Variablen sind im Anhang 3 ersichtlich.

Abbildung 25 IV-Anteil in Abhängigkeit der Reisezeitdifferenz



3.5.1 Resultate

Die Berechnung führt für die Transportmittelwahl IV zu den Resultaten in Tabelle 1 und 2. Die Ergebnisse sind im Jahr 2000 durchwegs sinnvoll. Das negative Vorzeichen der Beta-Werte der Zeile Fahrzeitdifferenz in den Jahren 1970 und 1990 lässt sich eventuell dadurch erklären, dass die Fahrzeitdifferenz (nicht Reisezeit!) oftmals negativ ist, d.h. dass die reine Fahrzeit des ÖV kürzer ist als diejenige mit dem Auto.

Die Ergebnisse der Pearson-Signifikanz zeigen, dass das Modell stark signifikant ist. Das Modell bildet die Wahrscheinlichkeit der Verkehrsmittelwahl aufgrund der gewählten Variablen sehr gut ab (Anhang 4).

Tabelle 1 Verkehrsmittelwahl: Parameterschätzung (MNL), Regressionskoeffizienten

		Modell Parameter (β)			
		1970	1980	1990	2000
IV	Abgangszeit	0.009	0.012	0.008	0.016
	Bedienungshäufigkeit	-0.007	-0.010	-0.007	-0.005
	Umsteigehäufigkeit	0.125	0.234	0.237	0.119
	Zugangszeit	0.008	0.010	0.011	0.011
	Fahrzeitdifferenz (h)	-0.149	0.034	-0.076	0.440
	Anzahl Beobachtungen	19027	17988	17599	18546
	Pearsons Goodness-of-Fit χ^2	38189	31592	31985	28596
	Freiheitsgrade	19012	17973	17584	18531
	Signifikanz	0.000	0.000	0.000	0.000

Tabelle 2 Verkehrsmittelwahl: Parameterschätzung (MNL), Konstanten

Verbindungstyp		Modell Parameter (β_0)			
		1970	1980	1990	2000
IV	Stadt-Stadt	-0.218	0.417	0.235	0.646
	Stadt-Agglo	0.118	0.925	0.791	0.920
	Stadt-Land	-0.032	0.583	0.587	0.886
	Agglo-Stadt	0.205	0.766	0.343	0.724
	Agglo-Agglo	0.418	1.263	1.208	1.350
	Agglo-Land	0.243	1.134	1.130	1.472
	Land-Stadt	-0.269	0.334	0.309	0.777
	Land-Agglo	0.155	0.810	1.047	1.470
	Land-Land	0.090	0.872	1.095	1.606

Die Konstanten der Dummy-Variablen weisen grosse Veränderungen über die Zeit auf. Gesamthaft steigt der Einfluss von β_0 , was schlussendlich zu einer Nutzensteigerung für die Verkehrsmittel des Individualverkehrs führt (vgl. Anhang 5).

Aus der Schätzung der Regressionskoeffizienten folgt die Berechnung der Wahrscheinlichkeit der Entscheidung für ein Verkehrsmittel. Die Wahrscheinlichkeiten wurden je Jahr und Verbindungstyp berechnet (siehe Anhang).

3.5.2 Nachfrageelastizitäten

Für alle geschätzten Modellparameter wurden auch die Eigenelastizitäten berechnet (Tabelle 3 und 4). Elastizitäten erlauben eine Aussage über die Veränderung des Modells, resp. der Wahrscheinlichkeit der Verkehrsmittelwahl bei einer Änderung des betrachteten Parameters.

$$\text{Eigenelastizität} = \frac{\text{Veränderung} - \text{Anteil}(\%)}{\text{Veränderung} - \text{Variable}(\%)} = \beta_{kj} (1 - P_j) X_k$$

mit β_{kj} = Regressionskoeffizient der Variablen k für die Alternative j

P_j = Wahrscheinlichkeit, für die Wahl der Alternative j

X_k = Ausprägung der Variablen k, (für die Berechnung der Elastizität: X_{50})

Die Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse der Elastizitätsberechnung für den IV bei einer Stadt-Land-Verbindung (Anhang 5). Die Elastizität ist sehr klein, d.h. dass sich die Wahrscheinlichkeit, den Individualverkehr für die Pendelstrecke zu wählen, auch bei starker Änderung der Angebotselemente des ÖV wie z.B. der Umsteigehäufigkeit, kaum ändert. Der Vergleich der Elastizitäten über die letzten vier Jahrzehnte lässt keine weiteren Aussagen zu, denn sie haben sich nur in geringem Masse verändert. Die grösste Veränderung kann über die Abgangszeit erwartet werden, wobei diese auch klein ist.

Beispiel: Die Zugangszeiten haben sich infolge einer neuen Haltestelle halbiert, das heisst, sie sind um 50% zurückgegangen. Somit ändert sich im Jahr 2000 die Wahrscheinlichkeit, dass der IV gewählt wird um $(0.5 * 0.041)$ 2%. In Anbetracht der hohen Wahrscheinlichkeit für die Wahl des IV, bleibt diese bei jeder Änderung relativ starr.

Tabelle 3 Verkehrsmittelwahl: Nachfrageelastizitäten einer Stadt-Land-Verbindung

	Stadt-Land	1970	1980	1990	2000
IV	Abgangszeit	0.053	0.045	0.032	0.045
	Bedienungshäufigkeit	-0.039	-0.040	-0.043	-0.021
	Umsteigehäufigkeit	0.039	0.052	0.064	0.025
	Zugangszeit	0.068	0.051	0.060	0.041
	Fahrzeitdifferenz (min)	-0.012	0.002	-0.005	0.022

Die Wahrscheinlichkeit, sich für den ÖV zu entscheiden, kann mit Veränderungen der Angebotselemente stärker beeinflusst werden (siehe Tabelle 4), was bei den betrachteten Variablen Sinn macht, da sich diese ausschliesslich auf den Öffentlichen Verkehr beziehen (ausser Fahrzeitdifferenz). Die IV-Entscheidung wird demnach weniger von diesen Einflussgrössen beeinflusst, was sich auch mit den Ergebnissen der Elastizitäts-Berechnung deckt.

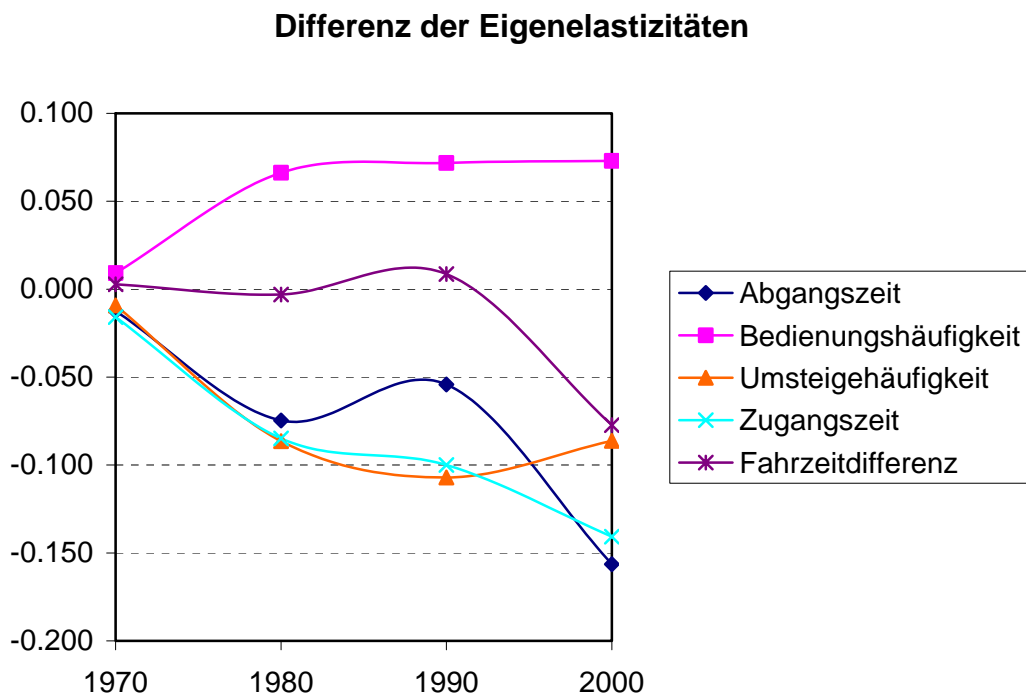
Die grösste Veränderung bezüglich der Entscheidungswahrscheinlichkeit für den ÖV kann wiederum über die Abgangszeit erzielt werden. Wird demnach die Abgangszeit von der Endhaltestelle zum Zielort um z.B. 50% reduziert, wird die Wahrscheinlichkeit, dass der ÖV auf einer Stadt-Land-Verbindung gewählt wird um $(-0.5 \cdot -0.201)$ 10% erhöht. Zu beachten gilt, dass sich die Elastizität nach den Verbindungstypen richtet (Anhang 5).

Tabelle 4 Verkehrsmittelwahl: Nachfrageelastizitäten einer Stadt-Land-Verbindung

	Stadt-Land	1970	1980	1990	2000
ÖV	Abgangszeit	-0.065	-0.119	-0.086	-0.201
	Bedienungshäufigkeit	0.048	0.106	0.115	0.094
	Umsteigehäufigkeit	-0.048	-0.138	-0.171	-0.111
	Zugangszeit	-0.084	-0.136	-0.160	-0.181
	Fahrzeitdifferenz (min)	0.015	-0.005	0.014	-0.100

Die Eigenelastizitäten der Variablen in Bezug auf die Wahrscheinlichkeit der Entscheidung für den ÖV sind bis zu 5mal höher als diejenige der IV-Wahl. Der Unterschied der Nachfrageelastizitäten zwischen IV und ÖV war 1970 noch gering und wird im Verlaufe der Jahre immer grösser (siehe Abbildung 26). Das Jahr 1990 scheint diesbezüglich speziell zu sein, eine Erklärung dafür konnte noch nicht gefunden werden. Der markante Unterschied zwischen 1970 und 1980 kann zum Teil durch die Einführung des Taktfahrplanes erklärt werden. Grundsätzlich scheinen die Schweizerinnen und Schweizer im Laufe der Jahre flexibler geworden zu sein, was stark damit zusammenhängt, dass man die Wahl zwischen mehreren Verkehrsmitteln hat und nicht unbedingt von einem einzigen Verkehrsmittel abhängig ist.

Abbildung 26 Differenz der Elastizitäten, Verbindung Stadt-Land



Erstaunlich ist der geringe Einfluss der Fahrzeitdifferenz. Vor der Betrachtung der Ergebnisse, wurde vermutet, dass diese Variable den grössten Einfluss auf die Verkehrsmittelwahl haben sollte. Umso überraschender sind die Resultate der Abgangszeit, welche doch einen gewissen Einfluss hat.

4 Danksagung

Ich möchte mich zuerst bei Claudia Dolci bedanken, dank ihrem Einsatz wurde es möglich, Zeitkarten in ArcMap zu erstellen. Ein weiterer Dank gebührt Herrn Prof. Axhausen, meinem Betreuer Michael Löchl, Philipp Fröhlich, sowie der gesamten Gruppe Verkehrsplanung des IVT der ETH Zürich für die Unterstützung und konstruktive Kritik an meiner Arbeit. Vielen Dank auch an Herrn Prof. Carosio vom IGP, welcher bei Fragen rund um das Programm LTOP behilflich war.

5 Literatur

- Axhausen, K.W., P. Fröhlich, M. Tschopp und P. Keller (2003) Erreichbarkeitsveränderungen in der Schweiz und ihre Wechselwirkungen mit der Bevölkerungsveränderung 1950-2000, *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung*, **189**, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich.
- Axhausen, K.W. (2001) Reisezeiten im Schweizer Eisenbahnnetz 1870 – 2010, *Materialien zur Vorlesung Verkehrsplanung 5*, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich.
- Axhausen, K.W. und P. Fröhlich (2004) Public investment and accessibility change, in P. Marti and A. Müller (eds.) *Festschrift Schalcher*, vdf, Zürich.
- Backhaus, K., B. Erichson, W. Plinke und R. Weiber (2003) *Multivariate Analysemethoden- eine anwendungsorientierte Einführung*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Botte, M. (2003) Strukturen des Pendelns in der Schweiz, *Diplomarbeit*, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich.
- Dolci, C. (2004) Zeitkarten, *PowerPoint-Präsentation*, (unveröffentlicht) Institute of Geodesy and Photogrammetry ETH Hönggerberg, Zürich.
- Erath, A. und P. Fröhlich (2003) Geschwindigkeiten im PW-Verkehr und Leistungsfähigkeiten von Strassen über die Zeit, *Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung*, **183**, IVT, ETH Zürich, Zürich.
- Fröhlich, P., HU Schiedt, S. Reubi und V. Martos (2003) Verkehrssystem und Raumnutzung in der Schweiz (COST 340): Netz-Datenbank, *Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung*, **208**, IVT, ETH Zürich, Zürich.
- Gätzi, M. (2004) Raumstruktur und Erreichbarkeit, *Diplomarbeit*, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, ETH Zürich, Zürich.
- Hilber, R. und M. Arendt (2004) Development of accessibility in Switzerland between 2000 and 2020: first results, Vortrag, 4th Swiss Transport Research Conference, Ascona, März 2004.
- König, A. und K. W. Axhausen (2001) Verkehrsentscheidungen in Mobidrive, *Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung*, **80**, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich.
- Ormsby, T., E. Napoleon (2001) Getting to know ArcGIS desktop, ESRI, Redlands.

- Ortuzar, J. de D. und L.G. Willumsen (1994) *Modelling Transport*, John Wiley & Sons, Chichester.
- Schweizerische Gesellschaft für Kartographie (2002) Topographische Karten: Kartographik und Generalisierung, *Kartographische Publikationsreihe*, **16**, Bern.
- Spiekermann, K. (1999) Visualisierung von Eisenbahnreisezeiten-Ein interaktives Computerprogramm, *Berichte aus dem Institut für Raumplanung*, **45**, Universität Dortmund, Dortmund.
- Spiekermann, K. und M. Wegener (1994) The shrinking continent: New time-space maps of Europe, *Environment and Planning B*, **21** (5) 653-673.
- Tschopp, M., P. Keller and 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. und P. Keller (2003) Raumstruktur-Datenbank: Gemeinde-Zuordnungstabelle, *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung*, **170**, IVT, ETH Zürich, Zürich.
- Vrtic, M. und K.W. Axhausen, K.W. (2004) Verkehrsmittelwahl auf der Grundlage von Stated-Preference-Daten, *Strasse und Verkehr*, **90** (4) 23-28.
- Vrtic, M., K.W. Axhausen, R.Maggi und F. Rossera (2003) Verifizierung von Prognosemethoden im Personenverkehr, im Auftrag der SBB und dem Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), IVT, ETH Zürich und USI Lugano, Zürich und Lugano.
- Vrtic, M., P. Fröhlich und K. W. Axhausen (2003) Schweizerische Netzmodelle für Strassen- und Schienenverkehr, in T. Bieger, C. Laesser and R. Maggi (Hrsg.) *Jahrbuch 2002/2003 Schweizerische Verkehrswirtschaft*, 119-140, SVWG, St. Gallen.

Anhang

Anhang 1: Tabelle der kritischen. Reisezeiten für die Datenauswahl

Anhang 2: Raumaufteilung ARE

Anhang 3: Statistik der Daten

Anhang 4: SPSS-Outputs

Anhang 5: Berechnung der Elastizitäten