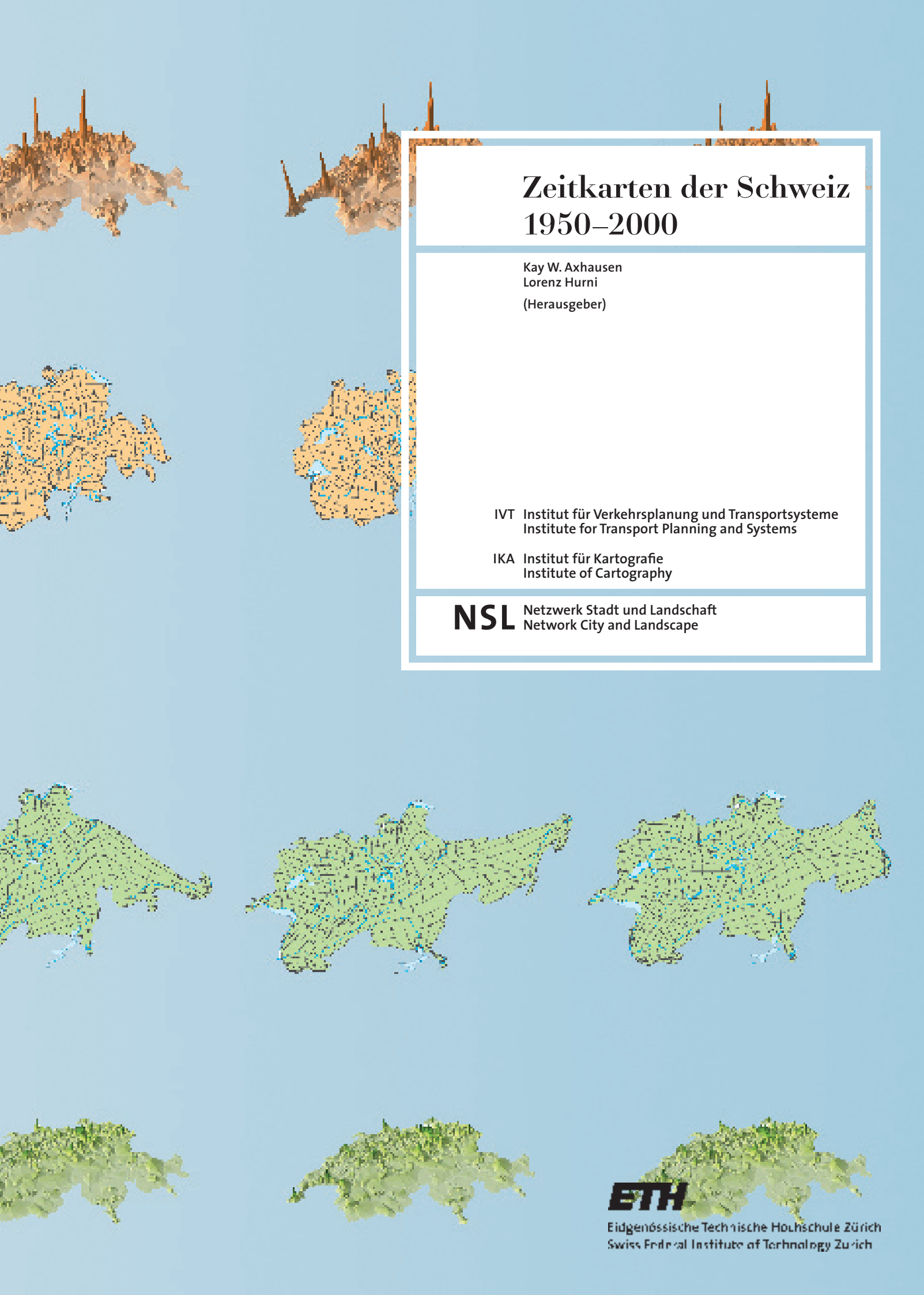




Zeitkarten der Schweiz 1950–2000

Kay W. Axhausen
Lorenz Hurni
(Herausgeber)

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

IKA Institut für Kartografie
Institute of Cartography

NSL Netzwerk Stadt und Landschaft
Network City and Landscape



ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Zeitkarten der Schweiz 1950–2000

Kay W. Axhausen
Lorenz Hurni
(Herausgeber)

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

IKA Institut für Kartografie
Institute of Cartography

NSL Netzwerk Stadt und Landschaft
Network City and Landscape



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Impressum

Herausgeber

Kay W. Axhausen (Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, IVT, ETH Zürich)
Lorenz Hurni (Institut für Kartographie, IKA, ETH Zürich)

Autoren

Kay W. Axhausen, Alessandro Carosio, Claudia Dolci, Philipp Fröhlich, Christian Häberling,
Lorenz Hurni, P. Keller, Milena Scherer, Martin Tschopp

Erstellung der Netzmodelle IV: Phillip Fröhlich, Tonja Bertschinger,
Meret Illi, Ralph Jud, Simone Koller, Viktor Martos, Luis Peña und Christian Sandmeier

Erstellung der Netzmodelle ÖV: Philipp Fröhlich, Firma IR Data,
Balz Bodenmann, Pascal Buracco und Markus Nollert

Erstellung der Gemeindedatenbank: Martin Tschopp, Firma IR Data, Stefan Trenkle

Berechnung der Zeitkarten: Alessandro Carosio, Claudia Dolci und Milena Scherer

Berechnung und Darstellung der Erreichbarkeiten: Philipp Fröhlich, Tessa Fonfara
und Bernhard Seisl

Berechnung der Isochronen: Philipp Fröhlich

Gestaltung der Kartenbeilagen: Juliane Cron, Philipp Marty, Stefan Schmid,
Christian Häberling, Stefan Räber

Gestaltung der Broschüre: Andreas Gähwiler

Druck der Publikation und der Karten: Merkur Druck AG, Langenthal

2005

© Institut für Verkehrsplanung (IVT), ETH Zürich
Institut für Kartographie (IKA), ETH Zürich

ISBN 3-906441-09-1

Jede Reproduktion, auch von Teilen und unabhängig vom Medium, ist nur mit Genehmigung
des Instituts für Verkehrsplanung (IVT), ETH Zürich und des Instituts für Kartographie (IKA),
ETH Zürich, gestattet.

Inhalt

Vorwort	5
---------	---

Kapitel 1

Zeitkarten, Erreichbarkeiten und Verkehrspolitik	7
1 Einführung	9
2 Erreichbarkeit und Raumsystem	10
3 Die letzten 50 und 150 Jahre	14
4 Ausblick	25
5 Dank	26
6 Literatur	26

Kapitel 2

Netzmodelle und Erreichbarkeit in der Schweiz: 1950–2000	29
1 Einführung	31
2 Modellannahmen und -grundlagen	32
3 Vergleiche	37
4 Ausblick	39
5 Dank	39
6 Literatur	39

Kapitel 3

Erreichbarkeitsveränderungen in der Schweiz:

Eine kartographische Darstellung	41
1 Zeitkarten – Darstellung der Reisezeiten	43
2 Gewählter Ansatz zur Erzeugung der Zeitkarten	46
3 Umsetzung in ArcGIS 9.0	48
4 Die Erstellung der Schweizer Zeitkarten	50
5 Ausblick	54
6 Literatur	54
Anhang: Die Implementierung in ArcMap	56
A.1 Vorbereitung der LTOP-Input Files	56
A.2 Berechnung mit LTOP	57
A.3 Linkfile berechnen	58
A.4 Ergänzung durch weitere Orte (Zweiter Schritt)	58
A.5 Berechnung des dichteren Linkfiles	60
A.6 Rubbersheet – Funktion in ArcMap	60

Kapitel 4

Wie Reisezeit sichtbar wird	63
1 Grundsätzliches zu kartografischen Darstellungen	65
2 Erstellung der Kartenbeilagen	67
3 Literatur	71

Vorwort

Wir alle spüren, dass unsere Welt kleiner geworden ist, dass Orte und Personen, die uns vor Jahren noch unerreichbar schienen, heute eine Frage eines Tagesausflugs oder eines langen Wochenendes geworden sind. Diese Veränderungen für die Schweiz der Nachkriegszeit sichtbar zu machen, ist das Ziel dieser Broschüre. Ihr Hilfsmittel sind reisezeit-skalierte Karten des Strassen- und des Öffentlichen Verkehrs, kurz Zeitkarten, die die relativen Geschwindigkeiten durch Verzerrung der gewohnten topographischen Karten abbilden. Das genaue wie und womit der Zeitkarten wird in den nächsten Kapiteln erläutert. Die grosse Zahl der Autoren macht deutlich, dass ein solches Kartenwerk nur durch die Zusammenarbeit verschiedener Fähigkeiten möglich wird: Verkehrsplanung, Geodäsie und Kartographie. Diese Zeitkarten sind, bei aller Schönheit, natürlich nicht Selbstzweck, sondern sind Teil eines übergeordneten Forschungsprogramms, dass sich zum Ziel gesetzt hat, die Wechselwirkung zwischen Infrastrukturen, Raum- und Wirtschaftsentwicklung besser zu verstehen.

Die Verkehrsnetze wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes erstellt, dass der Schweizerische Nationalfonds über drei Jahre hinweg dankenswerterweise finanziert hat. Die ETH und das Departement Bau-, Umwelt und Geomatik haben uns im Rahmen der Grundfinanzierung den langen Atem gegeben, den ein solches Projekt benötigt.

Kern dieser Broschüre ist der Satz Karten des Instituts für Kartographie, auf denen für jedes Jahrzehnt des Untersuchungszeitraums 1950 bis 2000 die entsprechenden Zeitkarten mit den zugehörigen Informationen über Erreichbarkeiten, Bevölkerungsdichten und Geschwindigkeiten ergänzt werden. Die Texte erläutern den Hintergrund der Arbeiten, die Erzeugung der Daten, die Erstellung der Karten und ihre kartographische Umsetzung.

Die Arbeiten am IVT sind durch verschiedene Projekte mitfinanziert worden. Diese Unterstützung des Schweizer Nationalfonds, des Bundesamts für Bildung und Wissenschaft im Rahmen der COST Aktion 340 und des Bundesamts für Verkehr sei hier nochmals herzlich verdankt. Im Rahmen des SNF-Projekts «Entwicklung des Transitverkehrs-Systems und dessen Auswirkungen auf die Raumentwicklung in der Schweiz» hat das IVT intensiv und produktiv mit seinen Projektpartnern von ViaStoria, Universität Bern (H.-U. Schiedt und T. Frey) und des Institute d'Histoire, Universität Neuenburg (L. Tissot und S. Reubi) zusammengearbeitet.

Wir möchten uns hier nochmals bei allen Beteiligten für Ihre Zusammenarbeit, Unterstützung und Enthusiasmus bedanken, ohne die diese Broschüre nicht hätte erstellt werden können. Besonderer Dank gilt den Herren Andreas Gähwiler und Oswald Roth, NSL, ETH Zürich, die Layout und Drucklegung mit besonderer Sorgfalt übernommen haben.

Kay W. Axhausen, Lorenz Hurni
Zürich, Oktober 2005

Zeitkarten, Erreichbarkeiten und Verkehrspolitik

K.W. Axhausen

Ph. Fröhlich

M. Tschopp

P. Keller

1 Einführung

Moderne politische Systeme tendieren dazu, einzelne Politikbereiche zu isolieren oder positiv ausgedrückt zu professionalisieren: eigene Ministerien, eigene spezialisierte Politiker, Politikberater, Interessengruppen, aber vor allem eigene Budgets, deren Umfang und Grösse nach einer gewissen Zeit nicht mehr wirklich zur Diskussion stehen. In dieser Situation wird zwar die Sinnhaftigkeit einzelner Projekte mehr oder minder umfassend und angemessen beurteilt, z.B. durch Kosten-Nutzen-Analysen, aber die Frage, ob der Gesamtumfang des Budget gerechtfertigt ist, wird nicht mehr gestellt (Aberle, siehe auch Flyvberg, Bruzelius und Rothengatter, 2003 zu den Risiken der Professionalisierung). Die Verkehrspolitik und damit die staatlich organisierte Finanzierung von Strassen, Schienen und anderen Verkehrsinfrastrukturen ist ein gutes Beispiel für diese Strukturen. Im Falle der Schweiz hat das spezifische Finanzierungssystem sogar Verfassungsrang¹. Die Koalition aus Fachverwaltung, Auto- und Strassenlobby, aber insbesondere auch Autofahrern ist in der Schweiz, aber auch anderswo stabil. Das administrativ sehr kostengünstige System aus Mineralölzoll und Kraftfahrzeugsteuern versteckt effizient eine Vielzahl von Quersubventionen: z.B. von Regionen mit dichtem Verkehr an solche ohne; von Nutzern der Nebenzeiten zu Nutzern in den Spitzenstunden; von PW-Besitzern an LW-Nutzer. Seine volkswirtschaftliche Rechtfertigung ist die Produktion von Erreichbarkeit, die wiederum die Produktivität der Gesellschaft erhöhen soll.

Empirische Ergebnisse der letzten Jahre für die Vereinigten Staaten legen nahe, dass weitere Investitionen in die Strassennetze lange nicht mehr so produktiv sein werden, wie die in der Vergangenheit, und dass die verbleibende Verzinsung nicht mehr ausreicht, um die Gesamtmenge der Investitionen im Vergleich zum möglichen Ertrag in anderen Politikbereichen zu rechtfertigen (Siehe zum Beispiel Shirley und Winston, 2004). Die Herausforderung für die Verkehrspolitik und -planung, die von solchen Ergebnissen ausgeht, ist offensichtlich.

Bevor aber eine Überprüfung der vorliegenden Ergebnisse möglich ist, muss aus verkehrsplanerischer Sicht ein Datenproblem der bisherigen Modelle gelöst werden. Die Literatur in der Tradition von Aschauer, 1989 misst die Leistungen des Verkehrssystems mit Hilfe des zugehörigen (öffentlichen) Kapitalstocks². Sie belegt aber nicht, ob die Leistungen so für den jeweiligen Untersuchungszeitraum beschrieben werden können. Das Gegenteil scheint der Fall zu sein, da das wahre Mass der Leistungen des Systems, die möglichen Erreichbarkeiten, nicht linear mit dem Kapitalstock wächst (Siehe Axhausen, 2004). Als erster Schritt ist deshalb notwendig, diese Erreichbarkeiten für einen längeren Zeitraum und ein grösseres Untersuchungsgebiet systematisch zu bestimmen. Da sich die Erreichbarkeiten aus Reisezeiten und Aktivitätsgelegenheiten berechnen, ist die Erstellung von Netzmodellen zur Berechnung der Reisezeiten eine zwingende Voraussetzung für die weitere Arbeit. Die Zeitkarten, die wir hier vorstellen, sind also ein wichtiges Zwischenergebnis. Die weiteren Arbeiten sind noch nicht abgeschlossen und es können deshalb keine entsprechenden Modellergebnisse vorgelegt werden.

Dieses Kapitel ergänzt die restlichen, technischen Kapitel, indem es zum Einen die theoretischen Zusammenhänge zwischen Wirtschaftswachstum und Erreichbarkeit diskutiert, und zum Andern die vorliegenden Ergeb-

¹ Siehe Artikel 85 und 86; <http://www.admin.ch/ch/d/sr/101/>

² Siehe für weitere Beispiele z.B. Lutter, 1980; Seimetz, 1987; Fernald, 1998; Vickerman, 1991; Holtz-Eakin, 1994; Munnell, 1990; Nadiri, 1998; Banister und Berechman, 2000; Bröcker, Kanse, Schürmann und Wegener, 2002; Shirley und Winston, 2004.

nisse für die gestellte Frage würdigt. Im nächsten Kapitel beschreiben Fröhlich, Tschopp und Axhausen, wie die Netzmodelle erstellt wurden und mit welcher Genauigkeit man mit ihnen die Reisezeiten im mIV und ÖV zwischen zwei beliebigen Gemeinden in der Schweiz berechnen kann. Die Idee der Zeitkarten und den hier gewählten Ansatz diskutieren Carosio, Dolci und Scherer im dritten Kapitel. Das abschliessende Kapitel erläutert die kartographischen Überlegungen, die bei der Erstellung der Atlasseiten mit den Zeitkarten angestellt werden mussten.

2 Erreichbarkeit und Raumsystem

Während es leicht fällt, die Qualität des Verkehrssystems für ein bestimmtes Quelle-Ziel-Paar zu beschreiben, z.B. mit der Reisezeit, den monetären Kosten, seiner Verlässlichkeit oder einer gewichteten Summe solcher Grössen, ist ein Mass für die Qualität über alle denkbaren Ziele schwierig. Ein solches Mass muss zum Einen die generalisierten Kosten, d.h. die gewichtete Summe der einzelnen Eigenschaften der Verbindungen, berücksichtigen und zum Anderen die Qualität der Ziele berücksichtigen. Für einen Arbeitssuchenden sind es die Anzahl Arbeitsplätze, die ein Ziel (Stadt, Zone, Arbeitgeber, usw.) beschreiben, während eine Bank zum Beispiel an den Lohnsummen oder Hypothekenwerten Interesse hätte.

Die Erreichbarkeit wird also verstanden als die Summe der gewichteten Gelegenheiten, die man von einer bestimmten Quelle (Adresse, Zone, Gemeinde, usw.) aus erreichen kann. Es ist seit Lill (1889) bekannt, dass die Attraktivität eines Ziel exponentiell zu den generalisierten Kosten der Raumüberwindung abnimmt. Dies legt eine exponentielle Gewichtungsfunktion nahe. Die Ökonomie unterstellt in der Regel, dass die erste oder zweite Einheit eines Gutes einen grösseren Wert für den Nutzer hat als die tausendste oder millionste Einheit. Sie schlägt deshalb vor, die Menge solcher Güter mit dem natürlichen Logarithmus zu skalieren. Es ergibt sich damit für die Erreichbarkeit:

$$E_i = \ln \sum_j X_j e^{-\beta k_{ij}}$$

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

Erreichbarkeit ist also proportional zur Menge der Gelegenheiten und umgekehrt proportional zu den generalisierten Kosten. Verkehrspolitik kann sich also in erster Näherung auf die Senkung der generalisierten Kosten konzentrieren.

Dieses qualitative Argument für diese Berechnung der Erreichbarkeit kann durch eine formale Herleitung aus einem ökonomischen Modell der Zielwahl ersetzt werden. Williams, 1977 zeigt, dass diese Formulierung die Konsumentenrente aller Reisenden misst. Sie ist also ein wohlfahrtstheoretisch sauberes Mass der Nutzen aller Ziele in einer Region für eine gegebene Leistungsfähigkeit der Verkehrsnetze. Siehe auch Ben-Akiva und Lerman,

1985; Rietfeld und Bruinsma, 1998; Geurs und Ritsema van Eck, 2001 für vertiefende Diskussionen dieses Themas. In den weiteren Arbeiten verwenden wir die Anzahl der Einwohner, respektive Beschäftigten als Mass der Gelegenheiten und vereinfachend die Reisezeiten im MIV und im ÖV als alleiniges Mass der generalisierten Kosten.

In vielen Fällen ist es zweckmässig, den Effekt der Verteilung der Gelegenheiten, z.B. der Bevölkerung, vom Effekt der Netzleistungsfähigkeit zu trennen. Aus diesem Grund wurde zusätzlich die Geschwindigkeit, gewichtet mit dem Beitrag jeder Zone j zur Erreichbarkeit der Zone i , gemittelt über alle Zonen berechnet:

$$v_i = \frac{1}{E_i} \sum_j v_{ij} \cdot X_j \cdot e^{-\beta t_{ij}}$$

mit v_i mittlere Geschwindigkeit für Zone i
 E_i Erreichbarkeit der Zone i
 d_{ij} Strassendistanz zwischen Zone i und j

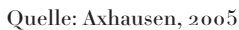
$v_{ij} = \frac{d_{ij}}{t_{ij}}$ Geschwindigkeit zwischen Zone i und j aus d_{ij} und c_{ij}

t_{ij} Reisezeit zwischen Zone i und j
 X_j Anzahl der Gelegenheiten (z.B. Bevölkerung) in Zone j
 β Gewichtungsfaktor

Somit erhält man einen Indikator, der die Entwicklung der Leistungsfähigkeit widerspiegelt und zwar in Abhängigkeit der für die Zone wichtigen Aktivitätspunkte. Als Distanzen wurden für beide Verkehrssysteme die Strassendistanzen verwendet, da diese in verlässlicherer Form vorliegen als die ÖV-Distanzen.

Verkehrsinfrastruktur wurde und wird in erster Linie geplant und erstellt, um die Reichweiten und Wirkungsradien von Bevölkerung und Wirtschaft zu erweitern und den Regionen so zu ökonomischer Prosperität zu verhelfen, d.h. es wurden durch veränderte Regulation, Kapazitätsausbau und Fahrplanverdichtungen die Reisezeiten und generalisierten Kosten gesenkt (Kesselring, Halbherr und Maggi, 1982). Das Gedankenmodell in Abbildung 1 fasst die Wirkungsketten zusammen, die hier auf der verkehrlichen Seite unterstellt werden. Die Kernbegriffe sind der gesellschaftliche Wohlstand gemessen mit dem Bruttoinlandsprodukt (GNP), die Produktivität der heimischen Wirtschaft festgemacht an Skalen- und Spezialisierungsgewinnen, die generalisierten Kosten der Raumüberwindung (k) und die Grösse der Märkte auf denen Firmen und Bewohner des Landes agieren können. Grössere Märkte, das heisst der Zugang zu mehr Wirtschaftssubjekten, bedeutet in der Regel auch Zugang zu grösseren Flächen, wobei natürlich Bevölkerungswachstum ein Ersatz für grössere Territorien sein kann. In grösseren Märkten können Anbieter und Nachfrager von Gütern und Leistungen, einschliesslich Arbeitskraft, zu einem besseren Abgleich ihrer Interessen finden: der Arbeitnehmer findet genau die Stelle, die er sich wünscht; die Arbeitgeberin findet den Mitarbeiter mit dem richtigen Profil hinsichtlich Ausbildung, Erfahrung und Gehaltswunsch, den sie sucht. Die Einkäuferin findet das gewünschte Produkt, da ein grosser Markt den Firmen erlaubt,

Abbildung 1: Hypothesen zur Wirkung der Erreichbarkeit



Sowohl individuell, wie gesellschaftlich wurde in die Grösse und den Komfort der Fahrzeugflotte investiert. Das Wachstum der PW-Flotte ist offensichtlich, aber auch die grösseren Flotten an Linienbussen, Strassenbah-

nen, Zügen oder Flugzeugen sind hier zu berücksichtigen (siehe für die Schweiz: Widmer und Meister, 2005). Dieser Wechsel erlaubt allen Beteiligten längere Wege mit höheren Geschwindigkeiten und grösserem Komfort zurückzulegen. Parallel dazu würde man erwarten, dass die Spezialisierung, respektive das Skalenwachstum die Anzahl der Aktivitäten ausser Haus erhöht, da diese so kostengünstiger und besser durchgeführt werden können. Beispiele wären Arzt und Krankenhaus, Unterhaltung in all ihren Formen aber auch Restaurants und andere Dienstleistungen. Hier ist aber zu sagen, dass die vorhandenen empirischen Daten nahelegen, dass diese Elastizitäten relativ klein sind.

Letzlich führt die Erhöhung der Realeinkommen zu Veränderungen der Bewertungen der Qualitäten der Bewegungen, aber auch der Umwelt. Am besten dokumentiert ist das Wachstum der Zahlungsbereitschaft für Reisezeitverkürzungen (VTTS: value of travel time savings) (Fosgerau, 2005), das parallel zum Realeinkommen verläuft. Analog dazu würde man erwarten, dass Personen und Gemeinden immer höhere Zahlungsbereitschaften, respektive Erwartungen haben, was zum Beispiel Bequemlichkeit, Lärm, Grösse der Wohnnugen und Wohnumfeldqualität angeht. Diese wachsenden Empfindlichkeiten für die verschiedenen Elemente der generalisierten Kosten sorgen dafür, dass wir weiter ungeduldig bleiben, obwohl absolut betrachtet enorme Senkungen der generalisierten Kosten erreicht wurden (Axhausen, 2005).

Neben den soweit beschriebenen eher langfristigen Prozessen, man denke an die Planungshorizonte für neue Bauvorhaben, wie Flughäfen oder Eisenbahntrassen, muss die Verkehrspolitik versuchen, auch einen zweiten Prozess zu steuern. Das Wachstum der Marktgrössen weiter verstärkt durch die grössere Zahl von Aktivitäten und Touren bedingt *ceteris paribus* ein Wachstum der Personen- und Tonnenkilometer. Die wachsenden Flottengrössen reduzieren die Besetzungsgrade der Fahrzeuge der Flotte und führen zu einem überproportionalen Wachstum der Fahrzeugkilometer. Bei kurzfristig gleichbleibender Anzahl von slots ergeben sich Warteschlangen und Verlustzeiten, ob nun als Staus auf Autobahnen, als Warteschleifen beim Anflug zu grossen Flughäfen, oder als Verspätungen durch zu knappe und störungsanfällige Fahrpläne im terrestrischen Öffentlichen Verkehr. Bessere Steuerung dieses Systems durch differenzierte Preise oder Kontrolle des Angebots (Wegweisung, Lichtsignalanlagen, Luftverkehrskontrolle) kann diese Verluste reduzieren oder verteilen, aber nicht verhindern.

Die generalisierten Kosten und die aus ihnen abgeleiteten Erreichbarkeiten sind also der Angelpunkt, um den herum Verkehrspolitik formuliert wird, insbesondere da wachsendene generalisierte Kosten das Sozialprodukt reduzieren: direkt durch zusätzliche Ressourcenverbräuche (Reisezeiten, Unzuverlässigkeiten, Umwegverkehre, Energieverbräuche usw.), aber auch indirekt durch die öffentliche Wahrnehmung einer unangemessenen Qualität des Alltags für eine reiche Gesellschaft. Neben den beschriebenen Regelkreisen beeinflusst die Politik die generalisierten Kosten auch durch die Regulation der Märkte und Produkte, respektive durch die Besteuerung der Ressourcen, wie zum Beispiel Kraftstoffe und Arbeit, wobei aber die Preise international gehandelter Ressourcen, wie Öl und Stahl, jenseits der nationalen Kontrolle sind.

Das vorgestellte Gedankenmodell konzentriert sich auf die Wirkungen des Verkehrssystems. Es ist klar, dass Verbesserungen dieses Systems keine

ausreichende Bedingung für Wachstum ist. Hier sind wahrscheinlich eine Vielzahl anderer Gründe ausschlaggebender, wie zum Beispiel die Flexibilität der Güter- und Arbeitsmärkte, die Qualität und Anzahl der Vertriebskanäle, der Marktzugang, Kapitalverfügbarkeit und Zugang zu, Adoption, respektive Erzeugung von neuen Technologien und Produktideen. Nichtsdestotrotz kann ein unzureichendes Verkehrssystem die Wachstumschancen eines Standorts beeinträchtigen, respektive unnötige Kosten verursachen.

3 Die letzten 50 und 150 Jahre

Die Erreichbarkeitsberechnungen erfolgten mit dem in Abschnitt 1 beschriebenen Ansatz, wobei die Bevölkerung die Gelegenheiten sind und der Parameter den konstanten Wert 0.2 hat, wie er von Schilling, 1973 für die Jahre 1960 und 1970 für die Schweiz geschätzt wurde. (Siehe aber für eine ausführliche Diskussion möglicher Gewichtungsfunktionen Kwan, 1998) Es ist natürlich wahrscheinlich, dass sich der Parameter über die Zeit aufgrund der Änderungen in der Standortwahl als auch durch die Verringerung der Transportkosten im Verhältnis zum Haushaltseinkommen verändert hat. Die Schätzung dieses Parameters oder komplexerer generalisierter Kostenfunktionen steht aber noch aus.

3.1 Erreichbarkeiten

Die Erreichbarkeiten wurden für die Zeit ab 1850 für Bezirke berechnet, während es ab 1950 möglich ist, sie auf der Ebene von Gemeinden zu berechnen. Die Diskussionsgrundlage wird sich deshalb auf diesen zweiten Zeitraum beschränken. Siehe aber Abbildung 3 und Abbildung 4 für die Entwicklung über den längeren Zeitraum und für die zugehörigen Isochronen vor 1950. Man beachte, dass es sich bei der langen Zeitreihe um die Fremderreichbarkeiten der Bezirke handelt, d.h. der Beitrag des Bezirkes zu seiner eigenen Erreichbarkeit wird nicht berücksichtigt. Während sich die Erreichbarkeiten im ÖV stetig verbessern, führt der fast sprunghafte Effekt der Motorisierung des Strassenverkehrs zwischen 1910 und 1950 zur Umkehrung der Vorteile der beiden Systeme. Der MIV kann auch die Streuung der Bezirkswerte konsistent reduzieren. In der Epoche nach 1950 haben die Investitionen in das Hochleistungsstrassennetz und das Bevölkerungswachstum ab 1950 nochmals einen bedeutenden Erreichbarkeitsanstieg bewirkt. Die Erreichbarkeitsveränderungen der Gemeinden am oberen Ende der Verteilung (der Schweizer Gemeinden) sind relativ klein. Die Bevölkerungsverluste der Grossstädte wurden hinsichtlich der Erreichbarkeit durch die höheren Geschwindigkeiten zum dichter besiedelten Umland ausgeglichen. Die Entwicklung der Kennzahlen für die Erreichbarkeitsverteilungen im MIV und ÖV sind in Tabelle 1 dargestellt. Das Jahrzehnt von 1960 bis 1970, in dem es zu grossen Fortschritten in der Fahrzeugtechnologie und zur Fertigstellung längerer Autobahnabschnitte kam, war im MIV die Periode mit den grössten Erreichbarkeitszuwachs (+4.5 % im Median). Im ÖV brachte die Einführung des Taktfahrplanes in den 80er Jahren den relativ grössten Erreichbarkeitszuwachs von 2.1 Prozent.

Im unterem Teil der Tabelle 1 sind die relativ grössere MIV-Erreichbarkeit gegenüber der ÖV-Erreichbarkeit dargestellt. Die Berechnungen wurden auch die Beschäftigten des 2. und 3. Sektors durchgeführt. Dabei zeigte sich ein durchwegs signifikanter Korrelationswert mit den Erreichbarkeitswerten für die Bevölkerung, der bei den Beschäftigten im 2. Sektor höher (MIV: 0.945–0.972; ÖV: 0.907–0.932) ist als bei den Beschäftigten im 3. Sektor (MIV: 0.915–0.978; ÖV: 0.911–0.951).

In Abbildung 2 sind die Erreichbarkeiten nach Rang der Gemeinde dargestellt. Hier zeigt sich deutlich, dass sich der Erreichbarkeitsvorsprung der Grossstädte gegenüber dem Umland über die Jahrzehnte verringert hat.

Tabelle 1: Erreichbarkeiten im MIV und ÖV seit 1950 im Vergleich

	1950	1960	1970	1980	1990	2000
<i>MIV Erreichbarkeit</i>						
Mittelwert	8.272	8.488	8.859	8.957	9.034	9.120
Median	8.409	8.617	9.006	9.111	9.200	9.302
Std. Abw.	0.917	0.935	0.971	0.994	0.995	0.993
25 % Perzentil	7.827	8.038	8.426	8.498	8.576	8.659
75 % Perzentil	8.867	9.102	9.513	9.653	9.710	9.798
<i>ÖV Erreichbarkeit</i>						
Mittelwert	6.446	6.516	6.611	6.665	6.775	6.849
Median	6.360	6.438	6.539	6.603	6.742	6.828
Std. Abw.	1.102	1.193	1.288	1.308	1.301	1.304
25 % Perzentil	5.666	5.659	5.659	5.717	5.820	5.921
75 % Perzentil	7.166	7.320	7.522	7.616	7.745	7.800
<i>Verhältnis MIV zu ÖV Erreichbarkeit</i>						
Mittelwert	1.307	1.332	1.376	1.381	1.368	1.365
Median	1.277	1.299	1.335	1.334	1.324	1.324
Std. Abw.	0.191	0.209	0.232	0.237	0.226	0.222
25 % Perzentil	1.158	1.167	1.192	1.192	1.189	1.188
75 % Perzentil	1.428	1.462	1.532	1.532	1.506	1.499

Die Abbildung 7 und Abbildung 8 zeigen die Erreichbarkeitswerte in einer 3D-Darstellung mit gleicher Skala für MIV und ÖV. Im Jahr 1950 stachen die Grossstädte als Gipfel hervor, über die Zeit heben sich aber die Werte im Umland, insbesondere im MIV, deutlich an. Der ln-Term wurde vernachlässigt, um die Unterschiede in den Erreichbarkeitswerten besser erkennen zu können, was aber zu einer Überzeichnung der Vorteile des MIV führt.

Die räumlichen Verteilungen zwischen 1950 und 2000 im MIV und ÖV sind ähnlich (Abbildung 9): Grossen Zuwächsen in den Agglomerationsgebieten um die Grossstädte und in den grossen Touristengemeinden (z. B. St. Moritz oder Zermatt) steht eine relativ schwache Entwicklung in den Grossstädten selbst und in den Randgebieten gegenüber. Die Grossstädte haben seit den 50er-Jahren Bevölkerung verloren und die Umland- und Tourismusgemeinden teilweise massiv an Einwohnern zugelegt. Die Korrelation zwischen den unmittelbar benachbarten Jahrzehnten ist hoch, knapp 0.99, aber sie wird kleiner (min. ca. 0.93), wenn die Anzahl der dazwischen liegenden Jahrzehnte erhöht wird.

Abbildung 2: Verteilung der Erreichbarkeitswerte im MIV und ÖV von 1950 bis 2000

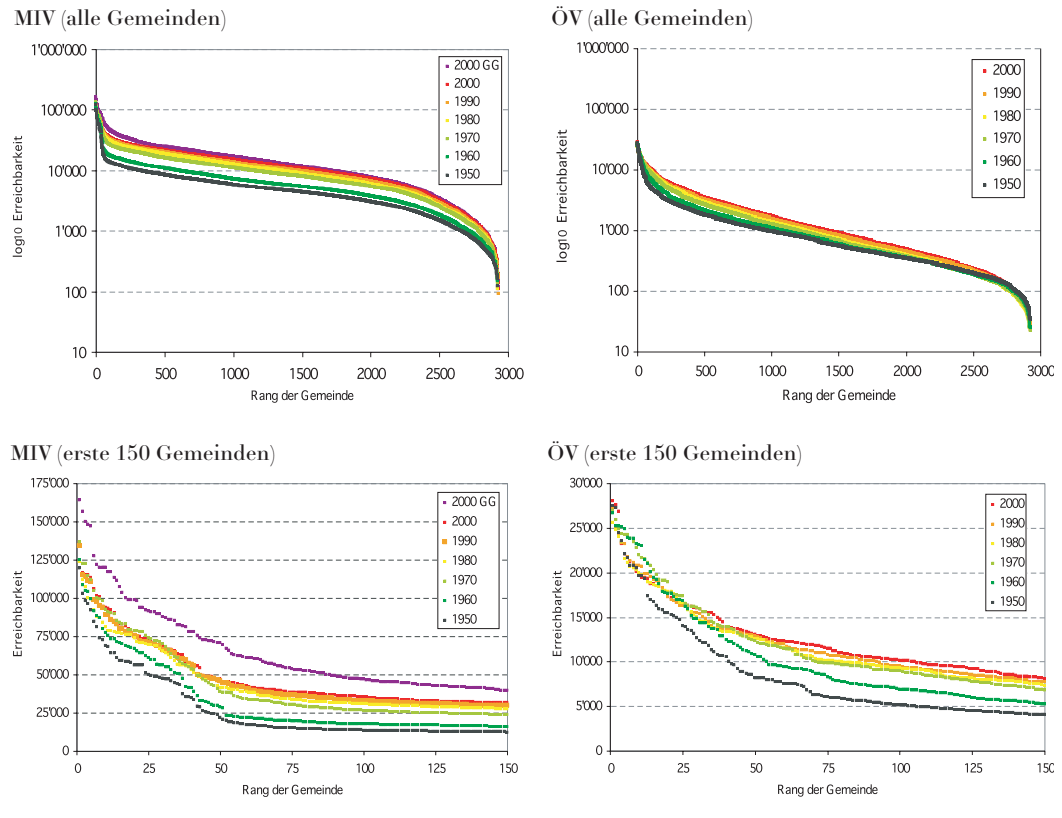


Abbildung 3: Fremderreichbarkeiten der Bezirke seit 1850

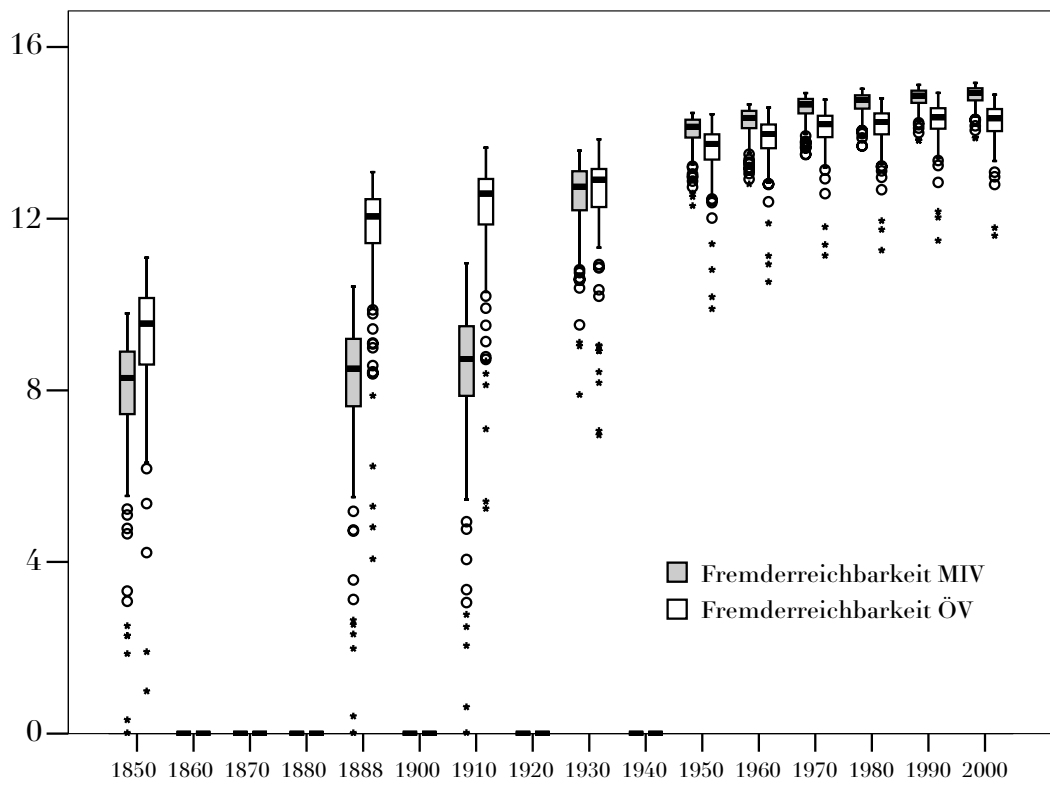
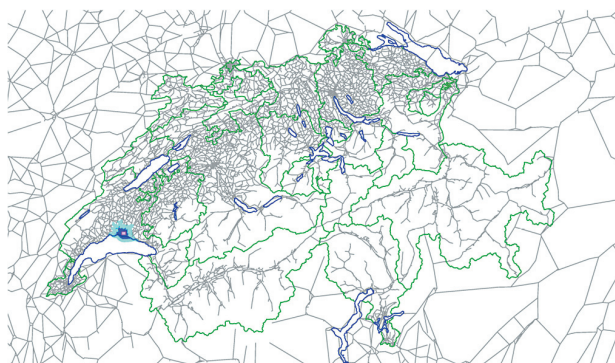


Abbildung 4: Isochronen für Lausanne (1850 und 1910)

MIV, 1850



MIV, 1910



ÖV, 1850



ÖV, 1910

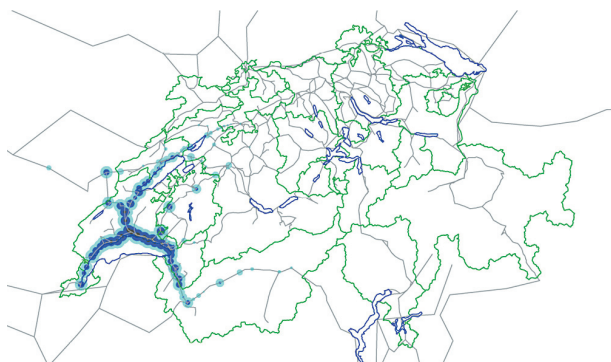
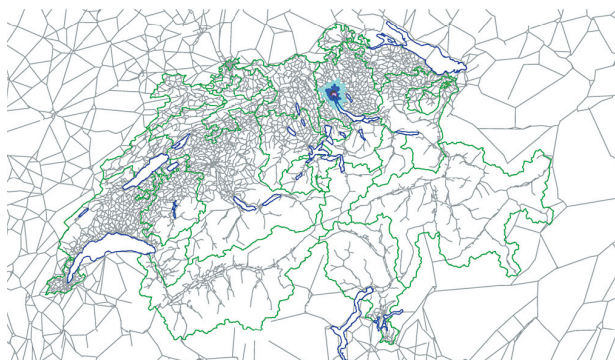
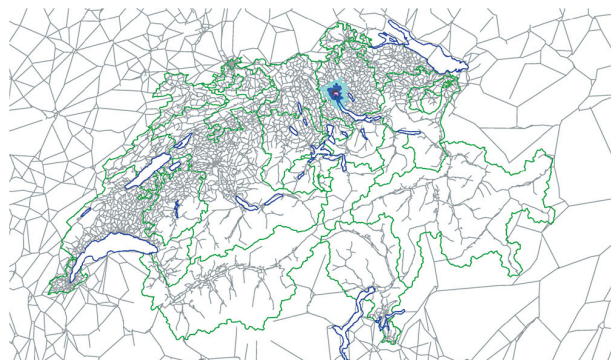


Abbildung 5: Isochronen für Zürich (1850 und 1910)

MIV, 1850



MIV, 1910



ÖV, 1850



ÖV, 1910

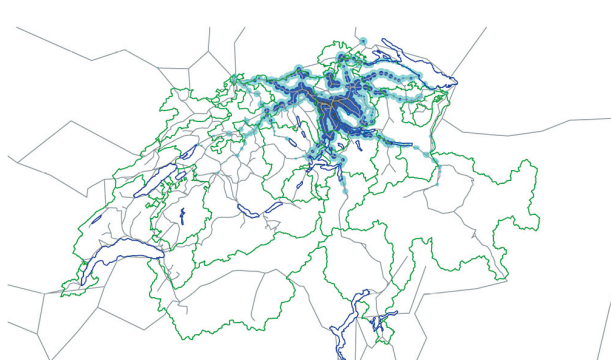
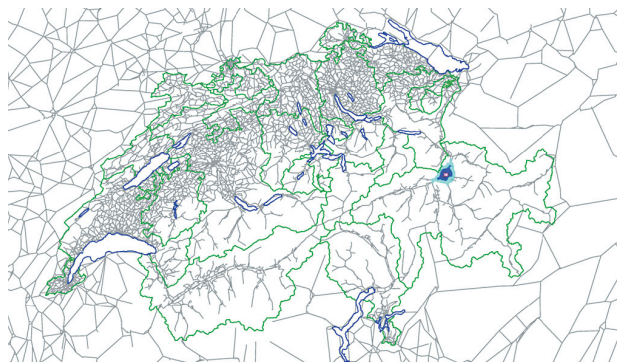
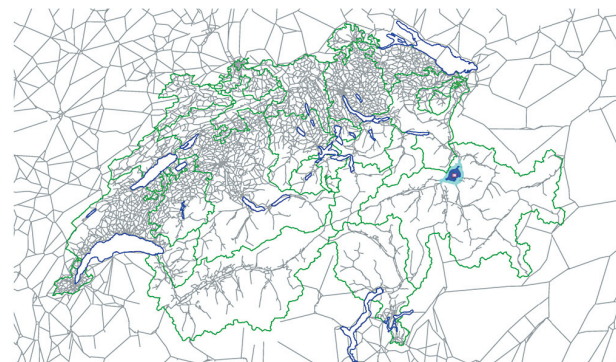


Abbildung 6: Isochronen für Chur (1850 und 1910)

MIV, 1850



MIV, 1910



ÖV, 1850



ÖV, 1910

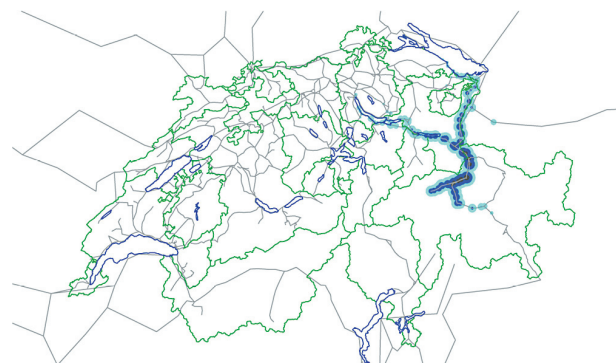


Abbildung 7: Erreichbarkeitsgebirge MIV 1950–2000 (ohne Logarithmierung)

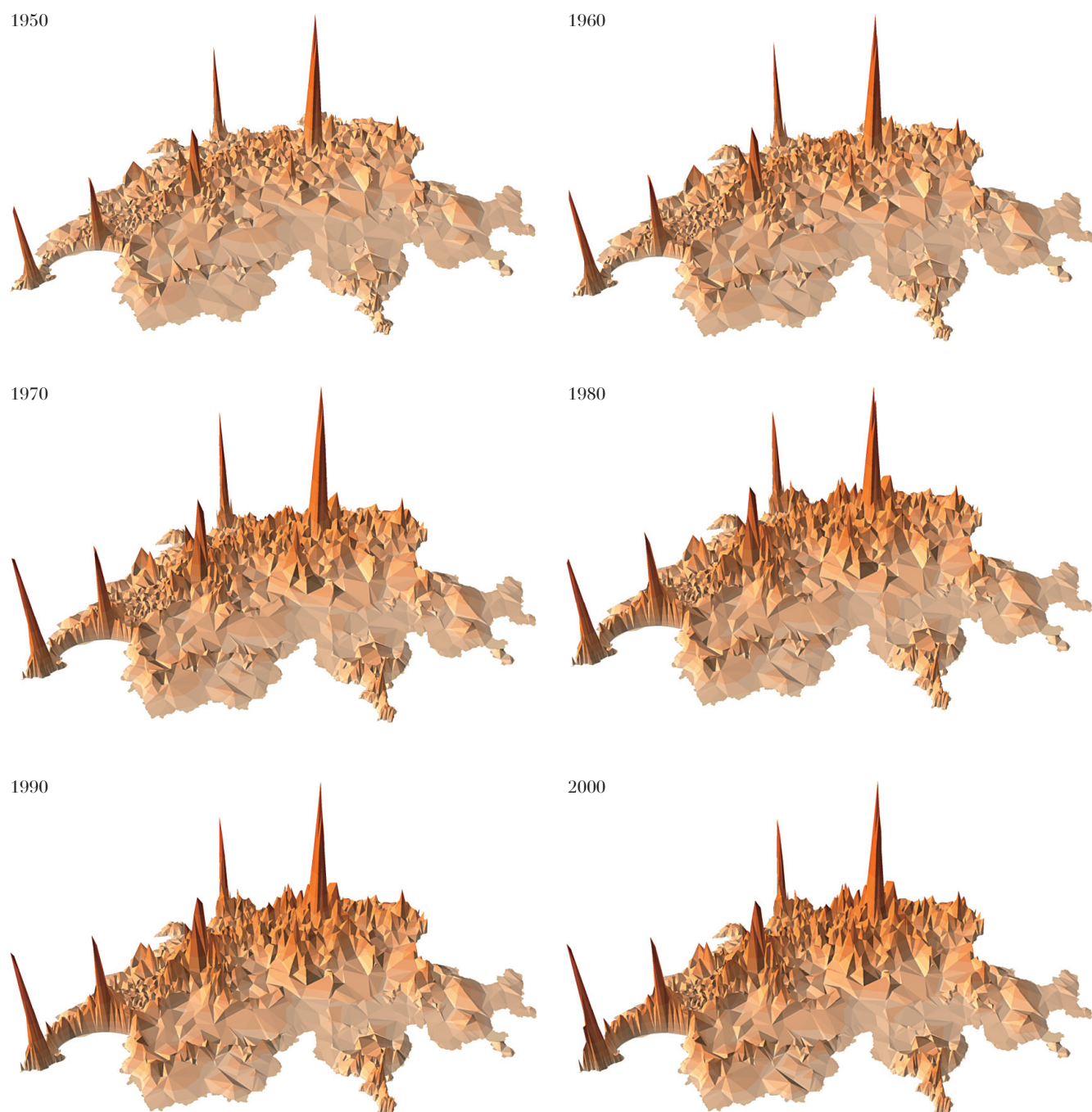


Abbildung 8: Erreichbarkeitsgebirge ÖV 1950–2000 (ohne Logarithmierung)

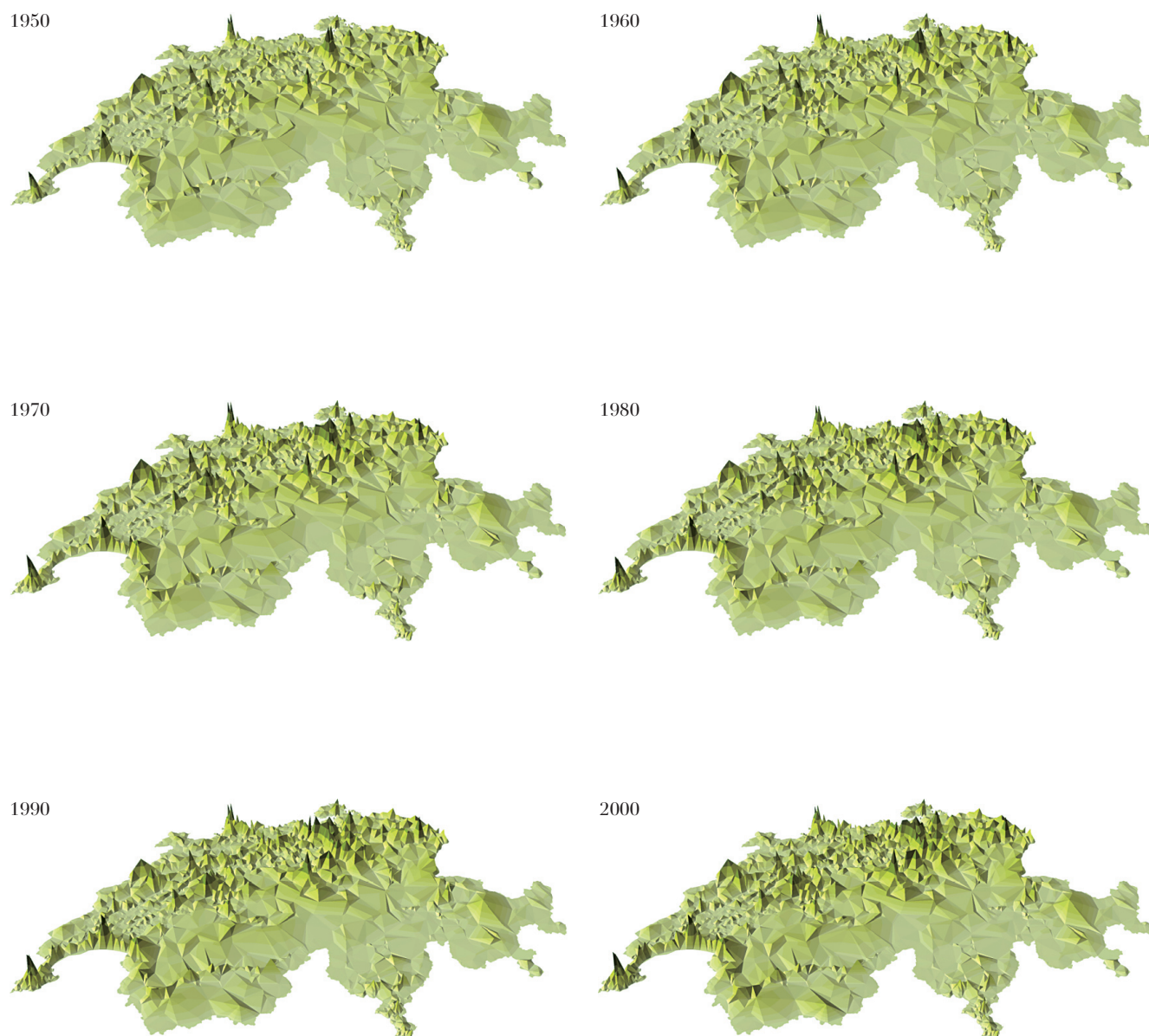
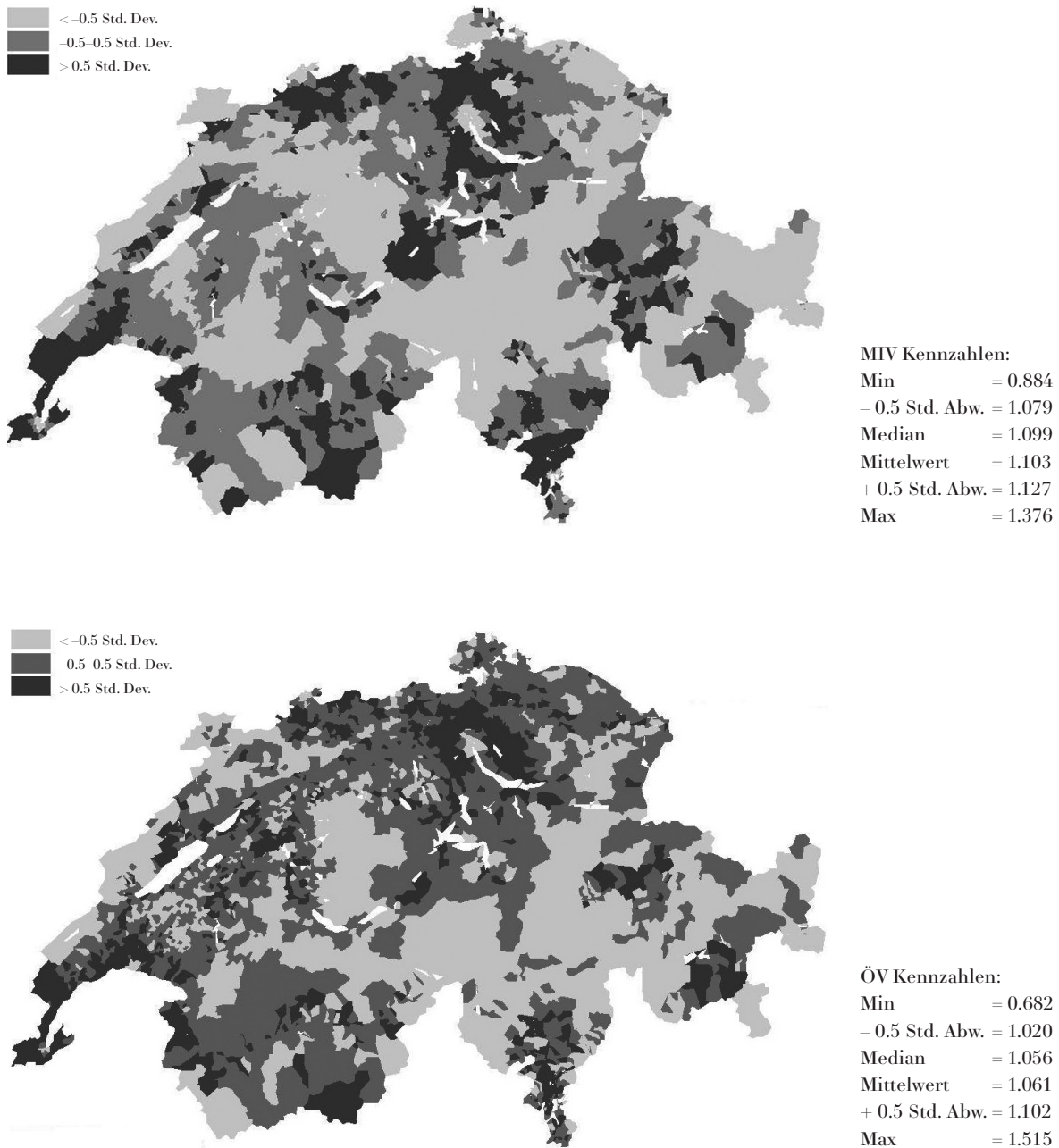
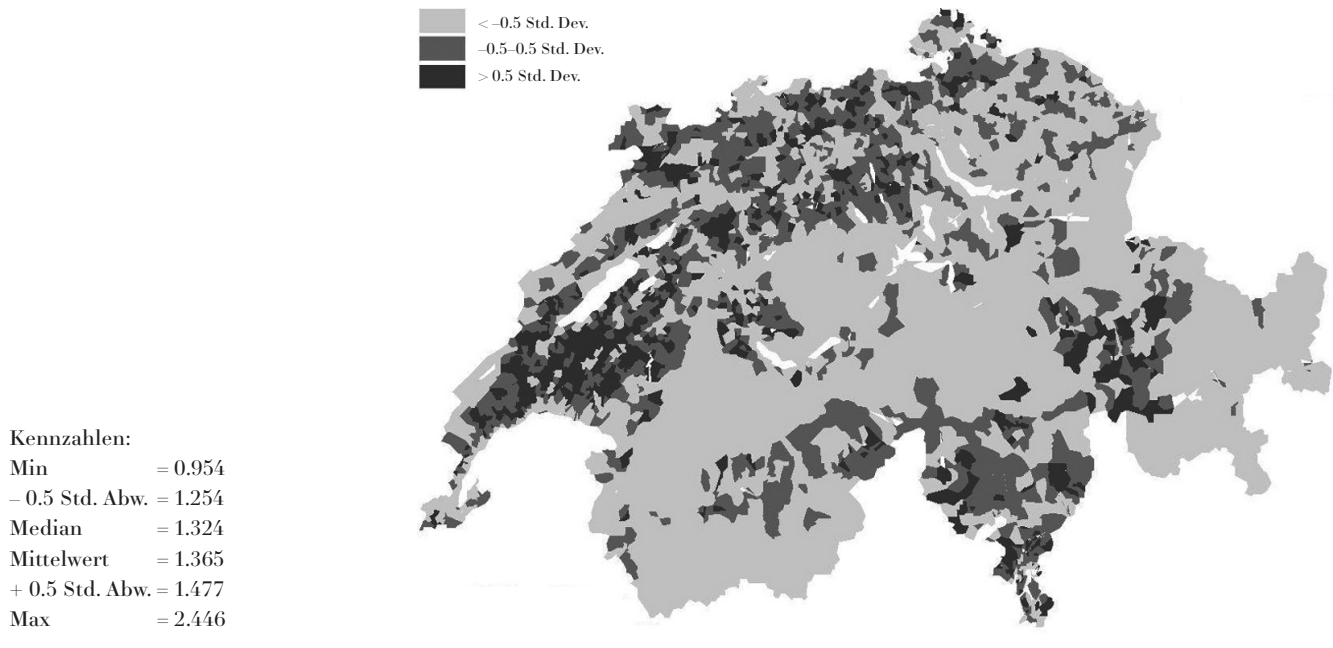


Abbildung 9: Verhältnis Erreichbarkeit im Jahr 2000 zu 1950 für MIV und ÖV



Das Verhältnis der MIV- zur ÖV-Erreichbarkeit für das Jahr 2000 zeigt für die ganze Schweiz den grossen Attraktivitätsvorsprung für den MIV (siehe Abbildung 10). Besonders stark ist dieser entlang der Autobahnkorridore, neben denen keine leistungsfähigen Bahnlinien existieren, z.B. neben dem mittleren und südlichen Teil der A13, dem nördlichen Teil der A4, der A1 westlich von Bern und der A12. Auch entlang von Bahnlinien kann das Verhältnis von Gemeinde zu Gemeinde stark variieren, je nachdem, ob eine Gemeinde einen eigenen Bahnhof hat oder nicht. In den Rand- und Berggebieten ist, wenn keine Autobahn vorhanden ist, das Erreichbarkeitsverhältnis besser als im schweizerischen Durchschnitt, so z.B. im Engadin und in Teilen des Juras.

Abbildung 10: Verhältnis MIV zur ÖV Erreichbarkeit für 2000



3.2 Geschwindigkeiten

Die regionale Verteilung der mittleren Geschwindigkeiten für 2000 (Abbildung 11) zeigt ein anderes Bild als das der Erreichbarkeiten, da hier die Ränder der Agglomerationsräume die höchsten Werte haben. Dies ist begründet mit den längeren Fahrtweiten zu den Aktivitätspunkten, die natürlich einen hohen Anteil an Autobahnbenutzung erlauben. In den Grossstädten selbst ist die gewichtete mittlere Geschwindigkeit niedrig, da hier die Aktivitätspunkte mit langsameren Geschwindigkeiten erreicht werden. Im Verhältnis der Geschwindigkeiten von 2000 und 1950 zeigt sich die starke Wirkung der Autobahnbauten. Die mittlere Geschwindigkeit im ÖV (siehe Abbildung 12) zeigt erwartungsgemäss niedrigere Werte in den Grossstädten und höhere an den Rändern der Agglomerationen. Auch die Bahnlinien entlang der Flusstäler, z.B. im Rheintal oder Rhonetal, sind gut zu erkennen. Das Verhältnis der mittleren Geschwindigkeit im MIV und im ÖV zeigt hohe Werte in Gebieten, wo konkurrenzfähige ÖV-Systeme fehlen, wie z.B. auf dem Plateau zwischen Neuenburger und Genfer See oder im Rheinwald (GR) (siehe Abbildung 13).

Die Korrelation zwischen den Erreichbarkeitswerten und den Geschwindigkeiten des gleichen Untersuchungszeitpunktes liegt beim MIV zwischen 0.026 und 0.182 sowie beim ÖV zwischen 0.16 und 0.33, und ist signifikant auf dem Niveau von einem Prozent. Wesentlich ist aber der geringe Wert der Korrelationen, der zeigt, dass die berechneten Erreichbarkeiten und Geschwindigkeiten unterschiedlich Aspekte der modellierten Prozesse messen.

Abbildung 11: Mittlere Geschwindigkeit MIV 2000 und Verhältnis der mittleren Geschwindigkeit MIV für 2000 und 1950

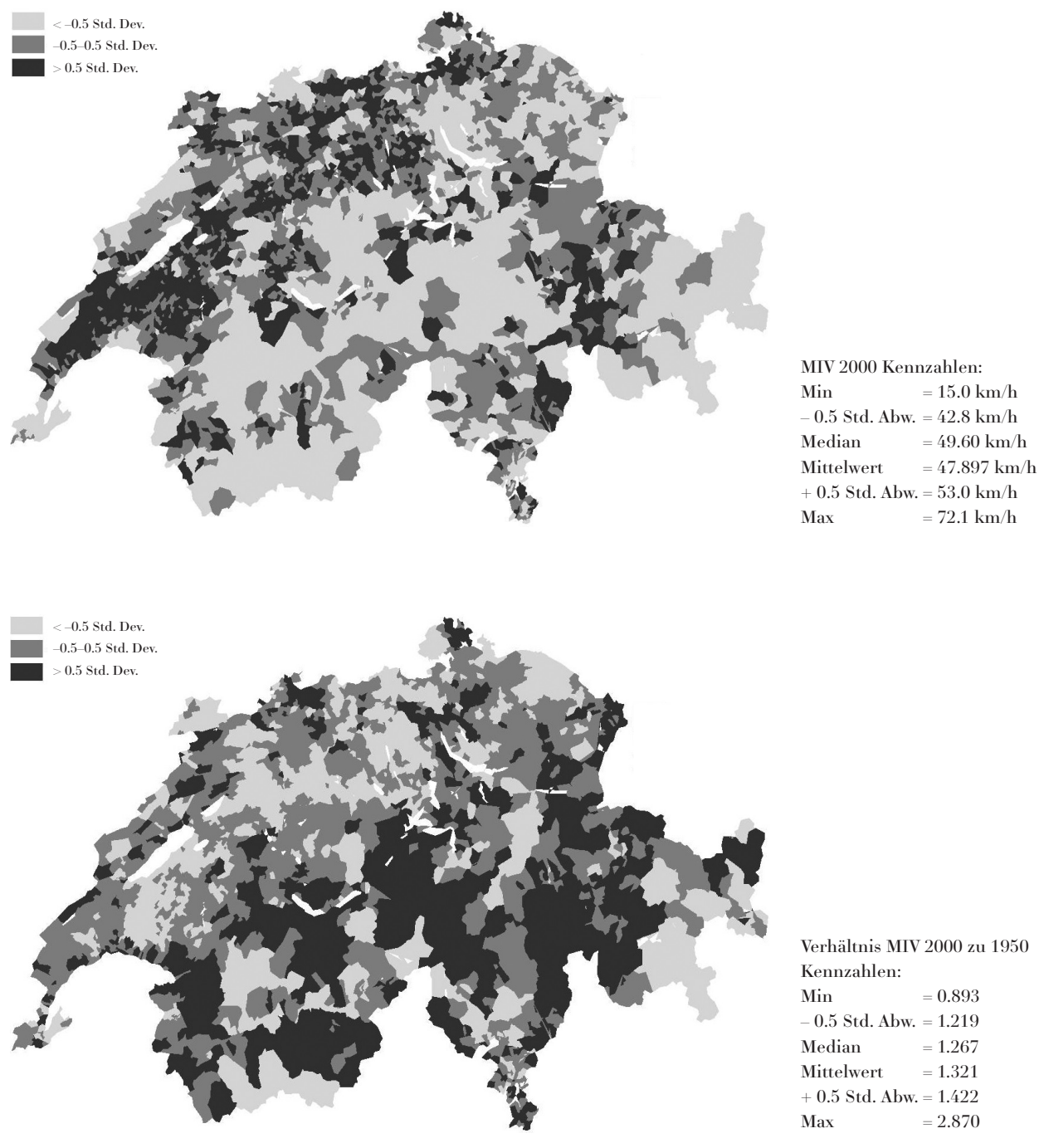
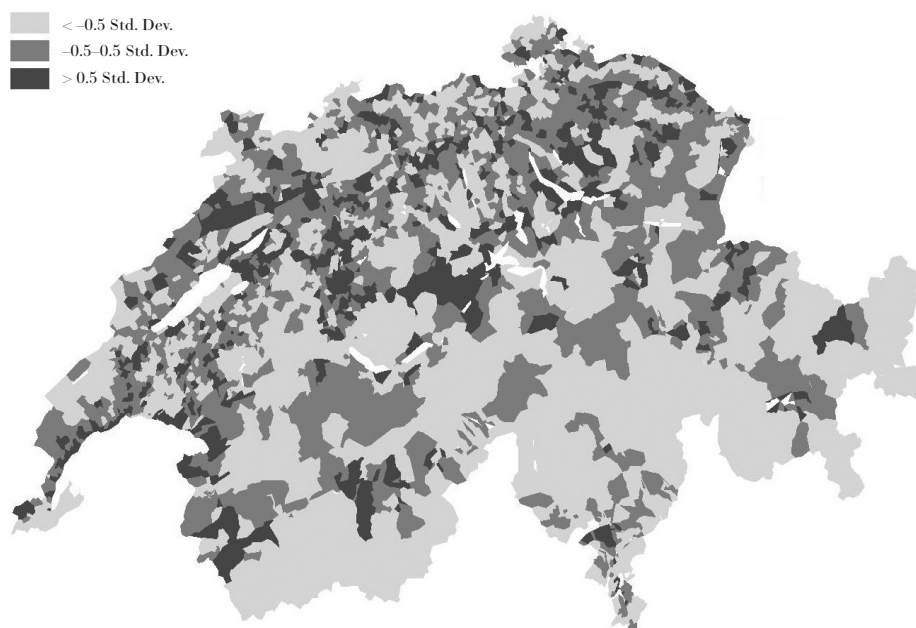


Abbildung 12: Mittlere Geschwindigkeit ÖV 2000 und Verhältnis
der mittleren Geschwindigkeit ÖV für 2000 und 1950

Mittlere Geschwindigkeiten ÖV 2000

Kennzahlen:

Min = 8.5 km/h
 - 0.5 Std. Abw. = 10.8 km/h
 Median = 11.10 km/h
 Mittelwert = 13.627 km/h
 + 0.5 Std. Abw. = 16.6 km/h
 Max = 57.3 km/h



Verhältnis mittlere Geschwindigkeiten ÖV 2000 zu 1950

Kennzahlen:

Min = 0.286
 - 0.5 Std. Abw. = 0.990
 Median = 1.079
 Mittelwert = 1.028
 + 0.5 Std. Abw. = 1.168
 Max = 2.827

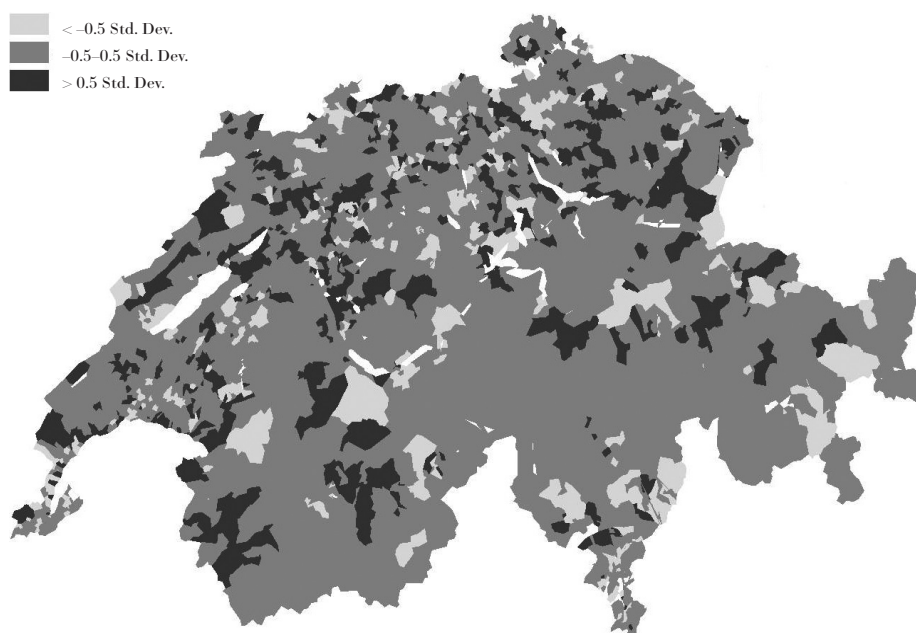


Abbildung 13: Verhältnis der mittleren Geschwindigkeit MIV und ÖV 2000



4 Ausblick

Die Erreichbarkeiten, Geschwindigkeiten und die Zeitkarten (Siehe Beilage) berichten von dem drastischen Umbau des Schweizer Raumsystems seit 1850, aber insbesondere seit 1950. Die Zeitkarten zeigen sehr schön, dass sich die Geschwindigkeiten angeglichen haben, und dass hier insbesondere die Peripherien dazugewonnen haben. Die Zeitkarten der Schweiz haben sich der geographischen Form angenähert, was davon zeugt, dass der politische Prozess die Konzentration der Investitionen auf die Kernregionen abgeschwächt oder sogar verhindert hat.

Die Veränderungen der MIV- und ÖV-Erreichbarkeiten in den letzten fünf Jahrzehnten zeigen ein etwas anderes Bild. Die Grossstädte haben ihre Position absolut halten könnten, wenn sie auch relativ zum Umland verloren haben. Es sind aber die Umlandgemeinden, die die grössten Gewinne absolut und relativ erzielt haben, während die Peripherien auch mit den höheren Geschwindigkeiten Peripherien geblieben sind. Die Konzentration des Bevölkerungswachstums im Umland der Grossstädte stabilisiert die Rolle der Peripherie.

Der MIV hat seit 1950 einen deutlichen Erreichbarkeitsvorsprung gegenüber dem ÖV. Auch verteilt der MIV die Erreichbarkeit gleichmässiger im Raum als der ÖV. Dieser Vorsprung ist in den letzten Jahrzehnten zwar im Mittel gleichgeblieben, aber für die Median-Gemeinde ist er grösser geworden. Die fehlenden Netzausbauten im Schienennetz erlauben es dem ÖV, nicht weitere Regionen zu erschliessen. Da in der Schweiz Expressbussysteme fehlen, kann dieses Ungleichgewicht auch nicht ausgeglichen werden.

Die gleichzeitige Betrachtung von mittleren Geschwindigkeiten und Erreichbarkeiten vertieft das Verständnis der beobachteten Prozesse. Es kann-

te gezeigt werden, dass Geschwindigkeit und Erreichbarkeit zwar signifikant, aber nur schwach miteinander korrelieren.

Diese Arbeiten, wie sie sich jetzt darstellen, sind aber erst ein Zwischenschritt. Die erarbeiteten Datenreihen zu Verkehrsinfrastruktur und Raumstruktur sind Grundlage für die Bearbeitung der weitergehenden Fragen zu den Auswirkungen auf den Raum und die Bevölkerung. Insbesondere von Interesse ist, wann, wo und wie stark die Zusammenhänge zwischen Verkehrsinfrastruktur, sowie deren Veränderungen über die Zeit, und die ökonomische und demographische Struktur sind. Allerdings ist das Erfassen und Nachzeichnen von kausalen Zusammenhängen nicht trivial. Nützliche Modelle sollten daher in der Lage sein, der stark historischen und geographischen Komponente der Fragestellung gerecht zu werden und folgende Fragen getrennt zu beantworten:

- Die Berechnung der Erreichbarkeit bedingt eine Schätzung der generalisierten Reisekosten. Die Frage, die sich nun stellt ist, ob neben der Reisezeit auch die Reisekosten (Treibstoffkosten, Fahrzeugkosten) einbezogen werden müssen. Beim ÖV stellt sich dieselbe Frage, hier ergänzt um die Frage nach dem Gewicht des Taktes und der Fahrtenhäufigkeit.
- Folgt die Erreichbarkeit der räumlichen und ökonomischen Entwicklung oder wirken die Zusammenhänge in die andere Richtung? Können beide Wirkungszusammenhänge auftreten? Sind sie zeitgleich oder zeitlich verschoben? Gibt es geographische Variationen?
- Welche Einflüsse haben weitere Variablen (Startbedingungen einer Region, strukturelle Veränderungen der Ökonomie, Wettbewerbsbedingungen auf dem Weltmarkt, Steuern, Subventionen etc.)?
- Welche Auswirkungen haben räumlich und zeitlich benachbarte Punkte auf das Wachstum? Als Modell: Welche Einflüsse haben räumliche und zeitliche Korrelationen?

5 Dank

Dieses Kapitel und Kapitel 2 werden in einer überarbeiteten Zusammenfassung als »Entwicklung der MIV und ÖV Erreichbarkeit in der Schweiz: 1950–2000« in »Raumordnung und Raumforschung« erscheinen. Die Autoren danken dem Verlag für die Erlaubnis die Texte und Abbildungen hier verwenden zu können.

6 Literatur

- Aberle, G. (1997) *Transportwirtschaft*, 2. Ausgabe, Oldenbourg, München.
- Aschauer, D. (1989) Is public expenditure productive?, *Journal of Monetary Economics*, **23** (2) 177–200.
- Axhausen, K. W. (2004) Does road investment produce accessibility gains at a constant rate? A comment on Shirley and Winston (2004), *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung*, **228**, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich.
- Axhausen, K. W. (2005) Activity spaces, biographies, social networks and their welfare gains and externalities: Some hypotheses and empirical results, Paper for the PROCESSUS Colloquium, Toronto.

- Axhausen, K. W. und Ph. Fröhlich (2004) Public investment and accessibility change, in H. Held und P. Marti (Hrsg.) *Bauen, Bewirtschaften, Erneuern – Gedanken zur Gestaltung der Infrastruktur*, 207–224, vdf, Zürich.
- Banister, D. und J. Berechman (2000) *Transport Investment and Economic Development*, UCL Press, London.
- Ben-Akiva, M. E. und S. R. Lerman (1985) *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, MIT Press, Cambridge.
- Bröcker, J., A. Kanse, C. Schürmann und M. Wegener (2002) Methodology for the assessment of spatial economic impacts of transport projects and policies, *IASON Deliverable 2*, Christian-Albrechts-Universität Kiel/Institut für Raumplanung, Universität Kiel/Institut für Raumplanung, Universität Dortmund.
- Fernald, J. G. (1998) Roads to prosperity? Assessing the link between public capital and productivity, *American Economic Review*, **89** (3) 619–638.
- Flyvbjerg, B., N. Bruzelius und W. Rothengatter (2003) *Megaprojects and Risk: An Anatomy of Ambition*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Fosgerau, M. (2005) Unit income elasticity of the value of travel time savings, Danish Transport Research Institute, Lyngby.
- Geurs, K. T. und J. R. Ritsema van Eck (2001) Accessibility measures: Review and applications, *RIVM report*, **408505006**, National Institute of Public Health and the Environment, Bilthoven.
- Hägerstrand, T. (1970) What about people in Regional Science? *Papers of the Regional Science Association*, **24**, 7–21.
- Holtz-Eakin, D. (1994) Public sector capital and the productivity puzzle, *Review of Economics and Statistics*, **76** (1) 12–21.
- Kesselring, H., P. Halbherr und R. Maggi (1982) *Strassennetzausbau und raumwirtschaftliche Entwicklung*, Verlag Paul Haupt, Bern.
- Kwan, M. (1998) Space-time and integral measures of individual accessibility: A comparative analysis using a point-based framework, *Geographical Analysis*, **30** (3) 191–216.
- Lenntorp, B. (1978) *Paths in Space-time Environments: A Time Geographic Study of the Movement Possibilities of Individuals*, Liber, Lund.
- Lill, E. (1889) Die Grundgesetze des Personenverkehrs: Eine Studie, *Zeitschrift für Eisenbahnen und Dampfschiffahrt*, **2** (35) 88–697–706 und **2** (36) 713–725.
- Lutter, H. (1980) Raumwirksamkeit von Fernstrassen, *Forschungen zur Raumentwicklung*, **8**, Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung, Bonn.
- Munnell, A. H. (1990) How does public infrastructure affect regional economic performance? *New England Economic Review*, (5) 11–33.
- Nadiri, M. I. (1998) Contributions of highway capital to output and productivity growth in the U.S. economy and industries, report prepared for the Federal Highway Administration Office of Policy Development, Washington, D.C.
- Rietveld, P. und F. Bruinsma (1998) *Is Transport Infrastructure Effective?*, Springer Verlag, Berlin.
- Schilling, H. R. (1973) Kalibrierung von Widerstandsfunktionen, *Studienunterlagen*, Lehrstuhl für Verkehrsingenieurwesen, ETH Zürich, Zürich.
- Seimetz, H.-J. (1987) Raumstrukturelle Aspekte des Fernstrassenbaus, Geographisches Institut der Johannes Gutenberg-Universität, Mainz.
- Shirley, C. und C. Winston (2004) Firm inventory behaviour and the returns

from highway infrastructure investments, *Journal of Urban Economics*, **55** (2) 398–415.

Vickerman, R. W. (1991) *Infrastructure and Regional Development*, Pion Limited, London.

Widmer, J.-P. und K. Meister (2005) Ausgewählte Schweizer Zeitreihen zur Verkehrsentwicklung, Materialien zur Vorlesung «Verkehrsplanung», IVT, ETH Zürich, Zürich⁴.

Williams, H.C.W.L. (1977) On the formation of travel demand models and economic evaluation measures of user benefits, *Environment and Planning A*, **9** (2) 285–344.

⁴ Siehe <http://www.ivt.ethz.ch/education/verkehrsplanung/Materialien002.2005.pdf>

Netzmodelle und Erreichbarkeit in der Schweiz: 1950–2000

Ph. Fröhlich
M. Tschopp
K.W. Axhausen

1 Einführung

Verkehrsinfrastruktur wurde in erster Linie geplant und erstellt, um die Reichweiten und Wirkungsradien von Bevölkerung und Wirtschaft zu erweitern und den Regionen so zu ökonomischer Prosperität zu verhelfen. Diese Infrastrukturen wurden in den vergangenen Jahrzehnten im Einklang mit diesem Ansatz stark ausgebaut¹. Der Test der Wirkungen des Verkehrssystems erfordert deshalb ungewöhnliches räumliches Detail und zeitliche Tiefe. Die Datenlage in der Schweiz erlaubt es jenseits der sonst in der Literatur üblichen Grenzen zu gehen, siehe z. B. Aschauer, 1989; Fernald, 1998; Holtz-Eakin, 1994; Munnell, 1990; Nadiri, 1998; Shirley und Winston, 2004. Die geographischen Untersuchungseinheiten (z. B. US-Bundesstaaten, englische Counties) sind dort eher grob oder es handelt sich um räumlich stark begrenzte Fallstudien. Zudem erstrecken sich die Untersuchungszeiträume häufig über nicht mehr als 10 bis 20 Jahre. Die Eisenbahnnetze werden in der Regel nicht in die Untersuchungen einbezogen.

Dieses Kapitel beschreibt die Entwicklung und Implementierung der Verkehrsnetze der Schweiz über die letzten 50 Jahre, respektive 150 Jahre und analysiert ihre Qualität. Diese Netze, eigentlich die mit ihnen berechneten Reisezeiten sind die Grundlage für die hier präsentierten Zeitkarten und Erreichbarkeiten.

Die Variablen der Raumstruktur wurden zum grossen Teil der Schweizerischen Volkszählung, aber auch anderen statistischen Reihen auf Bundesebene entnommen und, für die bessere Vergleichbarkeit über die Zeit, auf den Gebietsstand von 2000 transformiert. Die Schweiz umfasst heute 2896 Gemeinden. In den letzten 5 Jahrzehnten waren über 300 davon von Zusammenschlüssen, Kantons- oder Bezirkswechseln sowie von Namensänderungen betroffen. Siehe auch Fröhlich, Frey, Reubi und Schiedt, 2003 und Tschopp und Keller, 2003; Tschopp, Keller, Schiedt, Frey, Reubi und Axhausen, 2003. Wie in Kapitel 1 erläutert, werden die Erreichbarkeit und die mittlere Geschwindigkeit einer Gemeinde oder Zone, wie folgt berechnet:

$$E_i = \ln \sum_j X_j e^{-\beta k_{ij}}$$

und

$$v_i = \frac{1}{E_i} \sum_j v_{ij} \cdot X_j \cdot e^{-\beta t_{ij}}$$

mit

v_i	mittlere Geschwindigkeit für Zone i
E_i	Erreichbarkeit Zone i
d_{ij}	Strassendistanz zwischen Zone i und j
$v_{ij} = \frac{d_{ij}}{t_{ij}}$	Geschwindigkeit zwischen Zone i und j aus d_{ij} und c_{ij}
t_{ij}	Reisezeit zwischen Zone i und j
X_j	Anzahl der Gelegenheiten (z.B. Bevölkerung) in Zone j
k_{ij}	Generalisierte Reisekosten zwischen Zone i und j
β	Gewichtungsfaktor

1 Siehe zum Beispiel Widmer und Meister, 2005 für die entsprechenden Statistiken

2 Modellannahmen und -grundlagen

Die Berechnung der Erreichbarkeit verlangt die Abschätzung der generalisierten (Reise) -Kosten. Hier, wie auch in den meisten anderen Studien zu diesem Thema, werden die generalisierten Kosten mit der Reisezeit zwischen den Zonen gleich gesetzt. Die Reisezeit setzt sich im MIV zusammen aus der Anbindungszeiten (vom Zonenschwerpunkt zum nächstgelegenen Knoten im Strassennetz) und aus den Streckenfahrzeiten. Im ÖV besteht die Reisezeit aus der Summe von Anbindungszeiten, Fahrzeit und Umsteigewartezeit. Die Berücksichtigung des ÖV-Takts wurde vernachlässigt, da sich sonst bei schlecht erschlossenen Zonen unrealistisch hohe Reisezeiten ergeben. Zudem fehlen uns glaubwürdige Bewertungen für den Takt. Die verbesserte Koordinierung des ÖV-Angebots, insbesondere ab 1980, ist nur in der Umsteigewartezeit erfasst. Die Berechnungen sollten deshalb die Erreichbarkeitsentwicklung im ÖV unterschätzen.

Als Teil der Netzmodellierung müssen die folgenden Elemente festgelegt werden, die im folgenden im Detail diskutiert werden:

- Räumliche Auflösung
- Intrazonale Reisezeit
- MIV-Netz
- ÖV-Netz

2.1 Die räumliche Auflösung

Idealerweise würde man die Reisezeit zwischen Hausadressen berechnen, da so die räumliche Variation in den Reisezeiten bzw. den generalisierten Kosten vollständig abgebildet würde. Dies ist aber zurzeit für grössere Anwendungen noch nicht möglich. Für aktuelle Arbeiten mit diesem Ziel sei auf Raney, Cetin, Völlmy, Vritc, Axhausen und Nagel (2003) verwiesen.

Die verschiedenen Standorte werden daher zu Zonen aggregiert, die durch einen zugehörigen (bevölkerungsgewichteten) Schwerpunkt abgebildet werden. Dieser repräsentiert alle Aktivitätsmöglichkeiten als Punkt und ist damit auch die Quelle bzw. das Ziel für alle aus- und einströmenden Fahrten.

Die Schweiz bestand im Jahr 2000 aus 2896 Gemeinden mit insgesamt 7.1 Millionen Einwohnern. Im Vergleich zu den Nachbarländern hat die Schweiz viele kleine Gemeinden, z.B. haben 148 Gemeinden weniger als 100 Einwohner. Der Prozess der Gemeindezusammenlegung dauert schon einige Zeit an und wird auch in der Zukunft fortschreiten. Dieser Vorgang erfordert, dass zur Konsolidierung der Daten eine vollständige Zuordnung der Gemeinden über die Zeit vorliegt, wie dies für die Schweiz von Tschopp, Keller und Axhausen (2003) durchgeführt wurde.

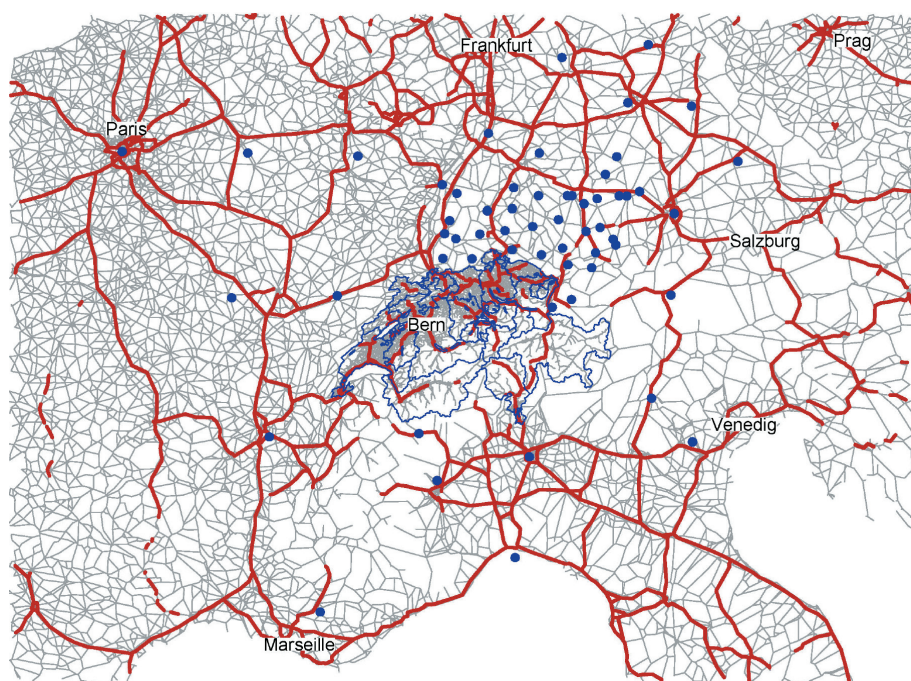
Die Grösse einer Zone hat direkte Auswirkung auf den berechneten Erreichbarkeitswert, insbesondere gilt dies bei Grossstädten. Wenn eine Grossstadt als eine Zone behandelt wird, kann die Erreichbarkeit von Nachbarzonen überschätzt werden, da die Reisezeit zwischen Schwerpunkt Grossstadt und Schwerpunkt Umgebungsgemeinde aufgrund der Lage des ersten sehr kurz sein kann (in Zürich kommt dies z.B. für Opfikon vor). In der vorliegenden Arbeit werden alle Gemeinden ausser den Grossstädten (Zürich, Genf, Basel, Bern und Lausanne) als je eine Zone behandelt. Die Grossstädte sind

in 6 bis 12 Zonen entsprechend der politisch-adminstrativen Aufteilung der Städte disaggregiert.

Die Festlegung eines Untersuchungsperimeters ist natürlich immer willkürlich. Sie reflektiert sowohl die Annahmen über die Wirkungen der Aktivitätsmöglichkeiten ausserhalb des eigentlichen Untersuchungsgebiets auf die Resultate im Untersuchungsgebiet, als auch die Kosten der Datenerhebung. In der Schweiz liegen drei grosse Städte entweder an der Grenze (Genf und Basel) oder sehr nahe der Grenze (Lugano). Die Erreichbarkeit dieser Städte ist daher stark von Aktivitätsmöglichkeiten ausserhalb der Schweiz beeinflusst. Daher wurden in der vorliegenden Arbeit die Aktivitätspunkte in den Nachbarländern bis zu einem Abstand von 350 km ab der Schweizer Grenze berücksichtigt (vergleiche Abbildung 1).

Für Deutschland, Liechtenstein und Österreich war es möglich, die Bevölkerungsdaten auf NUTS 3-Niveau zu erhalten. Für Frankreich und Italien konnten diese Daten nur auf NUTS 2-Ebene zusammengetragen werden.

Abbildung 1: Untersuchungsgebiet mit dem Strassennetz des Jahres 2000



Die dicken roten Linien sind die Autobahnen; die blauen Kreise markieren die europäischen Zonen. Die Stadtnamen dienen zur Orientierung.

2.2 Intrazonale Reisezeit

Der Beitrag der zoneneigenen Aktivitätsmöglichkeiten zur Gesamterreichbarkeit einer Zone ist substanziell. Die intrazonale Reisezeit, also die durchschnittliche Reisezeit zwischen zwei zufälligen Punkten in der Zone, ist danach zwingend zu schätzen. Wenn Informationen zum bebauten Gebiet je Zone vorliegen kann mit dem von Rietveld und Bruinsma, 1998 vorgeschlagenen Ansatz gearbeitet werden:

$$d = \sqrt{(O/\pi)(\pi - 1)/\pi}$$

mit d , der durchschnittlichen Distanz zwischen zwei beliebigen Punkten in einer vorgegeben Zone mit der bebauten Fläche O errechnet. Zur Ermitt-

lung der bebauten Fläche je Zone konnte auf die Arealstatistik des BFS (2002) zurückgegriffen werden. Um die intrazonale Reisezeit aus der Distanz zu erhalten, wurde für den MIV eine Geschwindigkeit von 15 km/h und für den ÖV von 10 km/h angenommen (siehe Hackney und Axhausen, 2005; und Marchal, Hackney und Axhausen, 2005 für entsprechende Schweizer Messungen).

2.3 MIV-Netze

Die Herausforderung bei der Berechnung historischer Reisezeiten ist es, die früheren Netzzustände abzubilden. Der Bearbeiter muss entscheiden, mit welchem Detailierungsgrad gearbeitet werden soll – oder anders formuliert: Soll nur die Entwicklung der Autobahnen oder der Autobahnen und Hauptstrassen oder aller Strassen berücksichtigt werden? Eine vergleichbare Frage stellt sich natürlich auch im Zusammenhang mit den ÖV-Netzen.

Als Ausgangsbasis wurde für das Schweizer MIV-Netz für das Jahr 2000 auf das Produkt MicroDrive der Firma MicroGIS, St. Sulpice, zurückgegriffen. Dieses Netz umfasst die ganze Schweiz und besteht aus rund 20'000 Strecken und rund 15'000 Knoten. Vom Jahr 2000 an rückwärts wurden die Änderungen (Eröffnungen, Verbesserungen und zusätzliche Fahrstreifen) sowohl auf Autobahnen und -strassen als auch auf Hauptstrassen im Zeitraum von 1950 bis 2000 berücksichtigt. Für die Entwicklung der Autobahnen konnte auf ASTRA (2001) zurückgegriffen werden. Die Datenerhebung zu den Hauptstrassen gestaltete sich sehr aufwändig, da kaum eine der kantonalen Strassenverwaltungen die Entwicklung der Hauptstrassen umfassend und konsistent dokumentiert hat. Daher musste die Entwicklung der Hauptstrassen anhand von Karten, Zeitschriften, Plänen, Strassenbauprogrammen und -budgets rekonstruiert werden. Danach mussten die Daten in aufwändiger Weise abgestimmt und abgeglichen werden, da sich die Bezeichnungen, Beschreibungen und massgeblichen Eigenschaften über die Zeit geändert hatten.

Um das Untersuchungsgebiet auch auf das angrenzende Ausland auszuweiten (siehe auch Abschnitt 2.3), wurde das Schweizer Strassennetzmodell mit einem europäischen Strassennetz der PTV AG, Karlsruhe, kombiniert. In diesem Netz wurde die Entwicklung der Autobahnen in einem Gebiet, das von den Städten Frankfurt, Salzburg, Genua, Lyon und Paris begrenzt wird, nachvollzogen. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die bearbeiteten Strecken in den beiden Netzteilen.

Tabelle 1: Anzahl der Strecken im erweiterten Strassennetzmodell [Schweiz (CH) und modellierten Umland (U)]

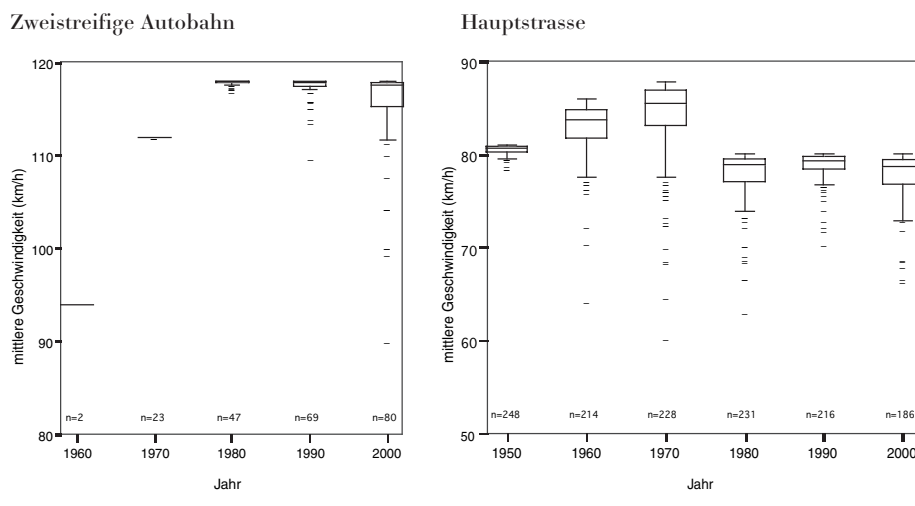
Jahr	Modifizierte Strecken CH	Nicht modifizierte Strecken CH	Total CH	Modifizierte Strecken U	Nicht modifizierte Strecken U	Total U
1950	3 527	14 171	17 698	136	29 112	29 248
1960	3 589	14 171	17 760	195	29 112	29 307
1970	4 147	14 171	18 318	422	29 112	29 534
1980	4 810	14 171	18 981	747	29 112	29 859
1990	5 215	14 171	19 386	896	29 112	30 008
2000	–	–	19 700	–	–	30 053

Der Schwerpunkt einer Schweizer Zone hat Anbindungen an das Strassennetz mit einer Geschwindigkeit von 15 km/h. Die Schwerpunkte der Zonen ausserhalb der Schweiz haben Anbindungen mit einer Geschwindigkeit von 40 km/h, da diese Zonen grösser sind und das Strassennetz in diesen Gebieten gröber ist. Die Koordinaten der Schwerpunkte der Zonen wurden vom Bundesamt für Raumentwicklung bereitgestellt. Die Länge der Anbindungen ergibt sich aus der Luftdistanz zwischen Schwerpunkt und den Knoten, an welchen die Anbindungen ans Strassennetz erfolgen.

In einem Netzmodell werden die Strecken beschrieben mit ihrer Länge, freien Geschwindigkeit, Kapazität und Parametern der *Capacity Restraint*-Funktion, welche die Abhängigkeit der gefahrenen Geschwindigkeit vom Auslastungsgrad abbildet. Eine vollständige Beschreibung war nur für das Jahr 2000 vorhanden. Die teilweise rasanten Veränderungen der letzten 50 Jahre in der Fahrzeugtechnologie, im Fahrverhalten der Fahrzeuglenker, des Strassenreglements und der Strassenqualität machten es notwendig für die sechs verschiedenen Untersuchungszeitpunkte (1950, 1960, 1970, 1980, 1990 und 2000) die entsprechenden Streckenattribute festzulegen.

Es sind keine historischen Nachfragematrizen vorhanden, die zur Berechnung der Geschwindigkeiten mit Hilfe einer Umlegung verwendet werden könnten. Daher ist es notwendig, begründete Annahmen über die mittlere Geschwindigkeit jedes Streckentyps zu machen. Das verwendete Netzmodell hat eine Vielzahl Streckentypen (25 Typen für den Schweizer Netzbereich und 26 Streckentypen für das umliegende Netz), die es erlauben, eine vernünftige Differenzierung vorzunehmen.

Abbildung 2: Verteilung der geschätzten durchschnittlichen Streckengeschwindigkeiten in der Schweiz nach Jahrzehnt auf Autobahn und Hauptstrasse



Man beachte die unterschiedlichen Skalen der beiden Abbildungen

Die angenommenen Streckeneigenschaften gründen sich auf der ausführlichen Arbeit von Erath und Fröhlich (2003), in der diese aufgrund von Daten und Berichten aus der Schweiz, Deutschland und den USA abgeleitet wurden. Dabei wurden Informationen über gemessene Geschwindigkeiten, Kapazitäten und Verkehrszählungen verwendet, um eine konsistente Serie für freie Geschwindigkeiten, *Capacity Restraint*-Funktionen, Kapazitäten und mittleren Geschwindigkeiten je Streckentyp und Dekade (zwischen 1950 und 2000) zu schätzen. Mit diesen sowie mit Zählwerten von rund 350 Zählstellen konnten dann die Geschwindigkeitsverteilung der wichtigsten

Streckentypen je Zeitperiode errechnet werden. Abbildung 2 zeigt die Geschwindigkeitsverteilungen für den Streckentyp Zweistreifige Autobahn und Hauptstrasse. Es ist interessant, wie die Geschwindigkeiten auf den Hauptstrassen bis 1970 leicht ansteigen. Gleichzeitig ist eine Zunahme der Varianz zu beobachten, die eine Folge der höheren Auslastung ist. Später hat das grösser werdende Autobahnnetz teilweise die Hauptstrassen entlastet und zwischen 1980 und 2000 nahm die Varianz ab. Gleichzeitig senkten die Änderungen des Geschwindigkeitsreglements das absolute Geschwindigkeitsniveau. Auf den Autobahnen ist der umgekehrte Effekt zwischen Geschwindigkeit und ihrer Varianz zu erkennen.

Die Streckengeschwindigkeit ist abhängig von den Streckeneigenschaften und der Belastung. Differenzierte Streckenbelastungen lassen sich nur mit einer umgelegten Nachfragematrix errechnen. Wenn keine Nachfragematrix vorhanden ist, stellt Verwendung der Reisezeit auf dem Bestweg zwischen allen Zonen unter Berücksichtigung der geschätzten mittleren Geschwindigkeit je Streckentyp die beste Näherung dar. Dieser Ansatz musste für den Zeitraum 1950 bis 1990 verwendet werden. Aus Konsistenzüberlegungen wurde er auch für das Jahr 2000 angewendet. Um die erhaltenen Resultate für 2000 zu verifizieren, wurde eine Gleichgewichtsumlegung (GG) mit dem Nationalen Verkehrsmodell (inkl. Nachfragematrix) aus Vrtic, Fröhlich, Schüssler, Axhausen, Dassen, Erne, Singer, Lohse und Schiller (2004) berechnet (siehe Tabelle 4).

2.4 ÖV-Netzmodell

Ausgehend vom Schienennetz für das Jahr 2000 wurde die Entwicklung der Strecken (rund 5500) und der Knoten (rund 2700) verfolgt (siehe auch Fröhlich *et al.*, 2003). Im Gegensatz zum Strassenverkehr, bei dem der Konsument die Infrastruktur als Angebot selbst nutzen kann, stellen im ÖV die Linien das Angebot für den Nutzer dar und nicht die Infrastruktur an sich. Für die sechs Untersuchungszeitpunkte wurden alle werktäglichen und ganzjährigen in der Schweiz verkehrenden Züge, sowie einige interregionale Buslinien erfasst. Einige Touristenbahnen, die keine Gemeinden erschliessen, wurden weggelassen. In Tabelle 2 sind die Anzahl der erfassten Kurse pro Tag sowie die bedienten Haltestellen aufgeführt.

Die Anbindungen vom Zonenschwerpunkt zur nächsten Haltestelle bilden die Zeit ab, die der Passagier zur Haltestelle benötigt. In den letzten 50 Jahren wurden einige Schienenstrecken bzw. Personenverkehre eingestellt und daher wurden die zugehörigen Haltestellen geschlossen. Auch diese Entwicklung musste bei den Anbindungen der verschiedenen Untersuchungszeitpunkte berücksichtigt werden. Die Anbindungen sind klassifi-

Tabelle 2: Anzahl ÖV-Kurse (Zug oder Bus) pro Tag und die bedienten Haltestellen nach Jahr

Jahr	ÖV-Kurse pro Tag	Bediente Haltestellen
1950	6 397	1 952
1960	7 232	1 932
1970	7 317	1 776
1980	9 342	1 832
1990	11 473	1 949
2000	11 227	1 904

ziert nach Zonentyp, Entfernung und, ob die Zone eine eigene Haltstelle hat (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Anbindungstypen im ÖV-Netz

Zonentyp	Längenbereich	Distanzart	Geschwindigkeit
Schweizer Zonen mit eigenen Bahnhof		Luftliniendistanz	6 km/h
Schweizer Zonen ohne eigene Haltestelle	0–10 km	Strassendistanz	Bis 1 km 6 km/h, dann linear ansteigend bis 20 km/h bei 10 km
Schweizer Zonen ohne eigene Haltestelle	> 10 km	Strassendistanz	20 km/h
Zonen in Schweizer Grossstädten	0–1 km	Strassendistanz	6 km/h
Zonen in Schweizer Grossstädten	> 1 km	Strassendistanz	10 km/h
Europäische Zonen	< 6 km	Luftliniendistanz	20 Min.
Europäische Zonen	> 6 km	Luftliniendistanz	40 km/h

Die Geschwindigkeitsannahmen basieren auf Auswertungen der HAFAS-Fahrpläne, auf der Arbeit Bodenmann (2003) und auf der Erhebung Mikrozensus Verkehr 2000 (ARE und BFS, 2001).

2.5 Erweiterung für den Zeitraum 1850 bis 1950

Für die Jahre vor 1950 war es nicht möglich gemeindescharf zu arbeiten, insbesondere da keine Gemeindestatistiken vorhanden sind. Die räumliche Auflösung wurde auf die Ebene des Bezirks zurückgenommen. Diese 187 Einheiten (177 Bezirke und 10 kleinere Kantone ohne Bezirkseinteilung; Stand 2000) werden durch ihren Hauptort repräsentiert, der entsprechend an die Strassen- und ÖV-Netze angebunden wurde.

Die Fahrpläne zwischen diesen Hauptorten wurden vollständig erfasst, wobei natürlich Postkutschenkurse ab 1850 langsam durch Eisenbahnkurse ersetzt wurden. Die Geschwindigkeiten und Kapazitäten der Strassen bauen auf Schätzungen in Fröhlich, Frey, Reubi und Schiedt (2004) auf.

3 Vergleiche

Die Ergebnisse der Berechnungen wurden im Detail schon in Kapitel 1 vorgestellt und gewürdigt. An dieser Stelle steht der Vergleich der Ansätze im Vordergrund.

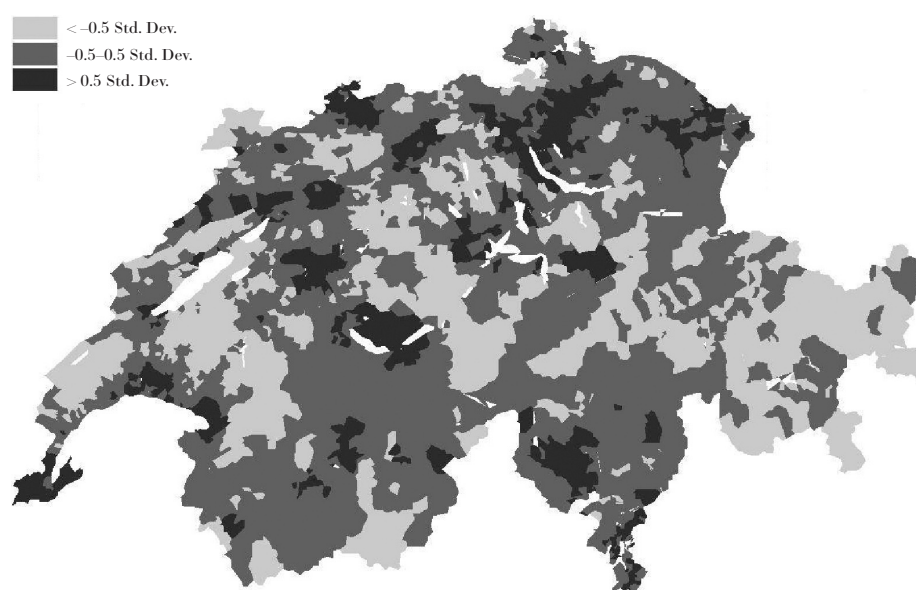
Tabelle 4 vergleicht die relativ grössere MIV-Erreichbarkeiten mit den ÖV-Erreichbarkeiten, aber auch das MIV-Modell (2000 GG) aus Vrtic *et al.* (2004) und dem hier entwickelten MIV-Modell. Das nationale Verkehrsmodell berechnet die Reisezeiten auf Grund der beobachteten Nachfrage im Jahr 2000 und der Leistungsfähigkeiten der Strassentypen.

Der Vergleich mit dem nationalen Verkehrsmodell (Vrtic *et al.*, 2004) und dem hier erstellten MIV Modell 2000 ergibt einen Median von 1.007, d.h. die Erreichbarkeiten wurden leicht unterschätzt (siehe Abbildung 9). Die grössten Abweichungen zeigen sich in den Agglomerationsgebieten. Sie sind auf die nicht abgebildeten Fahrten innerhalb der Grossstädte sowie auf einige Streckenumtypisierungen im Modell aus Vrtic *et al.* (2004) zurückzuführen.

Tabelle 4: Vergleich der Erreichbarkeitswerte im MIV und ÖV

	2000 Vereinfachtes Modell	2000 Nationales Modell (Nutzer- gleichgewicht)	Nutzergleich- gewicht/ Vereinfachtes Modell
<i>MIV Erreichbarkeit</i>			
Mittelwert	9.120	9.223	1.011
Median	9.302	9.387	1.007
Standard-Abweichung	0.993	1.043	0.019
25 % Perzentil	8.659	8.733	1.001
75 % Perzentil	9.798	9.932	1.017
<i>ÖV Erreichbarkeit</i>			
Mittelwert	6.849		
Median	6.828		
Standard-Abweichung	1.304		
25 % Perzentil	5.921		
75 % Perzentil	7.800		
<i>Verhältnis MIV- zu ÖV-Erreichbarkeit</i>			
Mittelwert	1.365		
Median	1.324		
Standard-Abweichung	0.222		
25 % Perzentil	1.188		
75 % Perzentil	1.499		

Abbildung 3: Verhältnis der MIV-Erreichbarkeit des nationalen Verkehrsmodells zum Modell 2000



Kennzahlen:

Min	= 0.969
- 0.5 Std. Abw.	= 1.001
Median	= 1.007
Mittelwert	= 1.011
+ 0.5 Std. Abw.	= 1.021
Max	= 1.202

Daher sind in diesen Regionen die Geschwindigkeiten höher. Es kann festgestellt werden, dass die Erreichbarkeitswerte aus dem MIV-Verkehrsmodell 2000 sehr gut mit den Werten aus dem Nationalen Verkehrsmodell übereinstimmen.

4 Ausblick

Dieses Kapitel hat gezeigt, wie die Modelle der Reisezeiten im MIV und ÖV für die letzten 50, respektive 150 Jahre strukturiert sind. Da für diese Zeiträume keine Nachfragematrizen vorhanden sind, war es notwendig mit der vereinfachenden Annahme zu arbeiten, dass die mittleren Geschwindigkeiten auf allen Strassen eines Streckentyps gleich ist. Die sorgfältige Abschätzung dieser Geschwindigkeiten bei Verwendung eines grossen Satzes an Streckentypen ermöglicht in der Tat eine überraschende gute Abschätzung der Geschwindigkeiten, die aus sich der komplexeren, nachfrageabhängigen Nutzergleich-gewichtsumlegung ergeben. Dieses Ergebnis erlaubt die Hoffnung, dass auch die Modelle der vorherigen Jahrzehnte ähnlich gute Qualität haben.

Für die Berechnung der Erreichbarkeitsveränderungen im MIV in anderen Ländern, scheint es ratsam, sich nur auf die Entwicklung des Hochleistungsstrassennetzes zu konzentrieren. Die Verfolgung des Zustands auf den Hauptstrassen über die Zeit ist eine aufwändige und kostenintensive Arbeit, die nur wenig zusätzliche Genauigkeit in den Ergebnissen bringt. Sollen die Erreichbarkeitsveränderungen im MIV aber kleinräumig untersucht werden, dann ist dieser Aufwand jedoch nicht zu vermeiden.

Im Fall der ÖV-Erreichbarkeit reicht die Modellierung der internationalen und Schnellzüge nicht aus, da in den letzten Jahrzehnten ein Gutteil der Investitionen und laufenden Ausgaben im Bahnbereich in die bessere Koordinierung der ÖV-Angebote und nicht in höhere Streckengeschwindigkeiten geflossen ist. Diese Aussage bezieht sich nur auf Regionen und Länder, in denen keine Hochgeschwindigkeitsstrecken gebaut wurden.

5 Dank

Dieses Kapitel und Kapitel 1 werden in einer überarbeiteten Zusammenfassung als «Entwicklung der MIV- und ÖV-Erreichbarkeit in der Schweiz: 1950–2000» in «Raumordnung und Raumforschung» erscheinen. Die Autoren danken dem Verlag für die Erlaubnis, die Texte und Abbildungen hier verwenden zu können.

6 Literatur

- Aschauer, D. (1989) Is public expenditure productive?, *Journal of Monetary Economics*, **23** (2) 177–200.
- ARE und BFS (2001) Mobilität in der Schweiz, Ergebnisse des Mikrozensus 2000 zum Verkehrsverhalten, Bern und Neuenburg.
- ASTRA (2001) Info 2001 – Schweizerische Nationalstrassen, Bundesamt für Strassen, Bern.
- BFS (2002) Arealstatistik Schweiz: Die Bodennutzung in den Kantonen, Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.
- Bodenmann, B. (2003) Zusammenhänge zwischen Raumnutzung und Erreichbarkeit: Das Beispiel der Region St. Gallen zwischen 1950 und 2000, Diplomarbeit, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich.

- Erath, A. und Ph. Fröhlich (2004) Geschwindigkeiten im PW-Verkehr und Leistungsfähigkeiten von Strassen über den Zeitraum von 1950–2000, *Arbeitsbericht Verkehr- und Raumplanung*, **183**, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH, Zürich.
- Fernald, J. G. (1998) Roads to prosperity? Assessing the link between public capital and productivity, *American Economic Review*, **89** (3) 619–638.
- Fröhlich, Ph., T. Frey, S. Reubi und H.-U. Schiedt (2004) Entwicklung des Transitverkehrs-Systems und deren Auswirkung auf die Raumnutzung in der Schweiz (COST 340): Verkehrsnetz-Datenbank, *Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung*, **208**, IVT, ETH Zürich, Zürich.
- Hackney, J. K. und K. W. Axhausen (2005) Speed of Transit in Zurich, Conference Paper, STRC, Monte Verità.
- Holtz-Eakin, D. (1994) Public sector capital and the productivity puzzle, *Review of Economics and Statistics*, **76** (1) 12–21.
- Kwan, M. (1998) Space-time and integral measures of individual accessibility: A comparative analysis using a point-based framework, *Geographical Analysis*, **30** (3) 191–216.
- Marchal, F., J. K. Hackney und K. W. Axhausen (2005) Efficient map-matching of large GPS data sets – Test on a speed monitoring experiment in Zurich, Conference Paper, STRC, Monte Verità.
- Munnell, A. H. (1990) How does public infrastructure affect regional economic performance? *New England Economic Review*, (5) 11–33.
- Nadiri, M. I. (1998) Contributions of highway capital to output and productivity growth in the U.S. economy and industries, Bericht an das Federal Highway Administration Office of Policy Development, Washington, D.C.
- Raney, B., N. Cetin, A. Völlmy, M. Vrtic, K. W. Axhausen und K. Nagel (2003) An agent-based microsimulation model of Swiss travel: First results, *Networks and Spatial Economics*, **3** (1) 23–42.
- Schilling, H. R. (1973) Kalibrierung von Widerstandsfunktionen, *Studienunterlagen*, Lehrstuhl für Verkehrsingenieurwesen, ETH Zürich, Zürich.
- Shirley, C. and C. Winston (2004) Firm inventory behaviour and the returns from highway infrastructure investments, *Journal of Urban Economics*, **55** (2) 398–415.
- Tschopp, M. und P. Keller (2003) Raumstruktur-Datenbank: Gemeinde-Zuordnungstabelle, *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung*, **170**, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich.
- Tschopp, M., P. Keller, H.-U. Schiedt, T. Frey, S. Reubi und K. W. Axhausen (2003) Raumnutzung in der Schweiz: Eine historische Raumstruktur-Datenbank, *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung*, **165**, IVT, ETH Zürich, Zürich.
- Vrtic, M. P. Fröhlich, N. Schüssler, K. W. Axhausen, S. Dasen, S. Erne, B. Singer, D. Lohse und C. Schiller (2005): Erzeugung neuer Quell-Zielmatrizen im Personenverkehr, im Auftrag des Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK), des Bundesamtes für Raumentwicklung (ARE), des Bundesamtes für Strassen (ASTRA) und des Bundesamtes für Verkehr (BAV), Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Emch+Berger AG und Lehrstuhl für Verkehrsplanung, TU Dresden, Zürich und Dresden.
- Widmer, J.-P. und K. Meister (2005) Ausgewählte Schweizer Zeitreihen zur Verkehrsentwicklung, Materialien zur Vorlesung «Verkehrsplanung», IVT, ETH Zürich, Zürich².

2 Siehe <http://www.ivt.ethz.ch/education/verkehrsplanung/Materialien002.2005.pdf>

Erreichbarkeitsveränderungen in der Schweiz: Eine kartographische Darstellung

A. Carosio

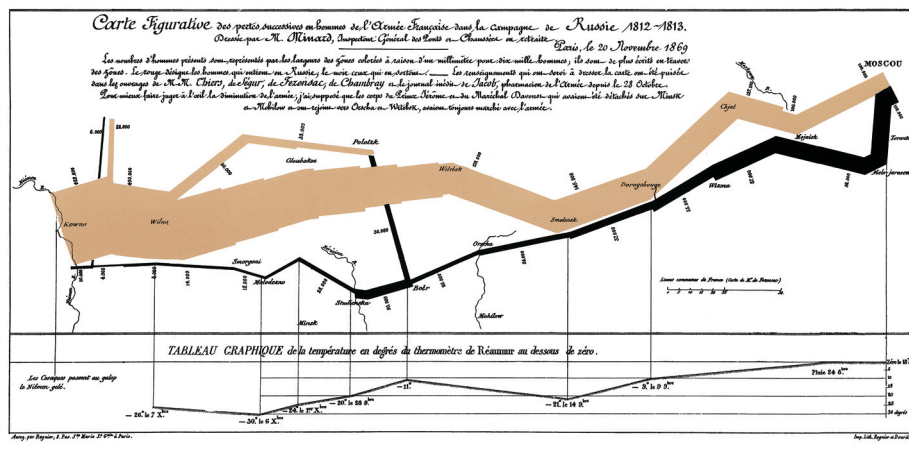
C. Dolci

M. Scherer

1 Zeitkarten – Darstellung der Reisezeiten

Es wurden bereits in der Vergangenheit viele Versuche unternommen, die Zeit in einer Karte darzustellen. Als Beispiel kann man «*Minard's Map*» (1861) erwähnen. Diese Karte zeigt die Verluste des französisch geführten Heeres während Napoleons Russlandfeldzug 1812–1813 (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1: Minard's Karte Napoleons Russlandfeldzug

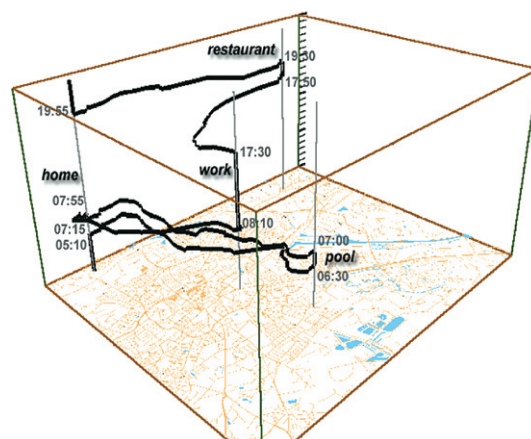


Quelle: <http://www.odt.org/pictureembed.htm> - Minard's Map (1861)

Ein anderes Beispiel ist der Hagerstrand's Raum-Zeit-Würfel, dessen Kubusbasis eine Karte ist, während die Kubushöhe die Zeitachse darstellt. In Abbildung 2 kann man ein praktisches Beispiel sehen, in dem die Streckenverläufe eines Tageslaufes einer Person aufgezeichnet sind.

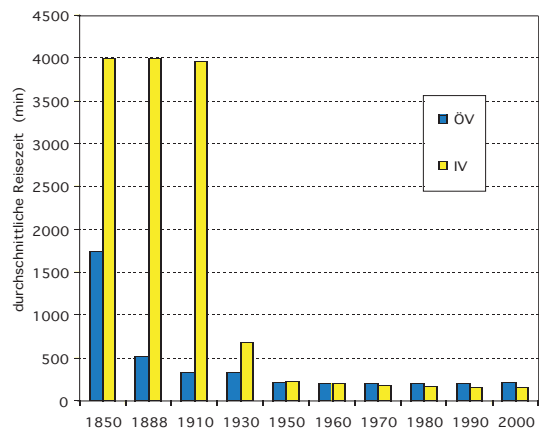
Alternative einfache Darstellungen sind z.B. **Balkendiagramme** mit den Werten der Reisezeit einer ausgewählten Verbindung verschiedener Jahre (siehe Abbildung 3) oder eine **Entfernungstabelle**, wie in Abbildung 4. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Reisezeiten ausgehend von einem festgelegten Ort mit **Isochronen** auf einer geographischen Karte zu visu-

Abbildung 2: Raum-Zeit-Würfel nach Hägerstrand



Quelle: Kraak (2003)

Abbildung 3: Reisezeit zwischen Genf und Luzern, 1850–2000



Daten aus den historischen Netzmodellen des IVT (Siehe Tschopp, Fröhlich, Keller und Axhausen, 2003); Man beachte die verzerrte Zeit-Achse!

Abbildung 4: Detail einer Entfernungstabelle Schweizer Städte

in km	Aarau	Andermatt	Basel	Bellinzona	Bern	Biel	Brig	Chiasso	Chur	Davos	Fribourg	Genf	Glarus	Interlaken	Kreuzlingen	Lausanne	Locarno	Lugano
Aarau	-	136	66	208	83	72	215	258	163	194	113	234	116	138	108	185	227	234
Andermatt		-	168	86	147	188	79	137	94	154	169	293	100	97	172	231	105	112
Basel			-	240	96	84	247	291	199	230	124	246	152	147	151	197	259	266
Bellinzona				-	219	255	127	54	115	134	251	343	185	178	242	279	18	28
Bern					-	40	169	270	241	292	32	154	225	56	192	105	238	245
Biel						-	204	307	275	330	70	159	188	91	187	110	274	281
Brig							-	186	172	227	181	215	177	113	249	152	107	146
Chiasso								-	169	194	289	399	239	216	296	337	66	27
Chur									-	58	263	387	71	191	128	325	137	143
Davos										-	319	443	100	247	157	381	160	166
Fribourg											-	137	241	73	223	75	257	263
Genf												-	382	190	345	63	322	361
Glarus													-	168	92	331	195	201
Interlaken														-	195	149	184	190
Kreuzlingen															-	288	278	284
Lausanne																-	258	298
Locarno																	-	29
Lugano																		-

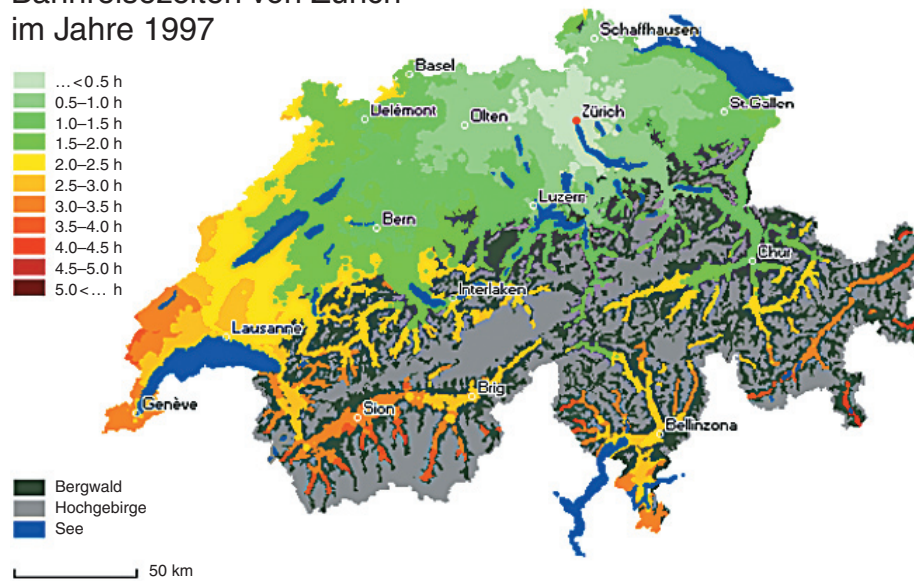
Quelle: Hergeleitet aus dem Kursbuch der SBB 2005

alisieren. Anhand der Linien oder unterschiedlichen Farben, die die Bereiche darstellen, welche vom Ausgangspunkt aus entlang dem vorhandenen Wegnetz oder mittels den zur Verfügung stehenden Verkehrsmitteln in der selben Zeit erreichbar sind, kann der Zeitaufwand von jedem beliebigen Punkt der Karte zum Ausgangspunkt abgelesen werden (siehe Abbildung 5).

Weit auseinander liegende Isochronen zeigen schnelle Verkehrsmittel an, während eng beieinander liegende Linien auf relativ hohen zeitlichen Aufwand zur Raumüberwindung hinweisen. Ein Nachteil der Isochronen-karten ist, dass die zeitlichen Entfernungen von nur einem Ort gezeigt werden können (Spiekermann und Wegener, 1993)

Eine weitere Darstellungsmöglichkeit sind die **Zeitkarten** (*Time (scaled) maps*), die dem Betrachter die Reisezeit visualisiert, indem die geographische Karte anhand von Reisezeiten transformiert wird (siehe Abbildung 6). So wird es möglich, anhand der Reisezeit-Skalierung unsere bekannte Umwelt entsprechend der Reisedauer darzustellen (Spiekermann und Wegener,

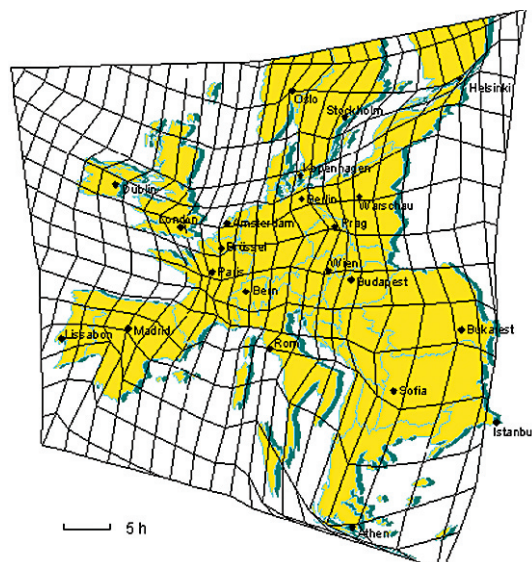
Bahnreisezeiten von Zürich im Jahre 1997



Quelle: Spiekermann in Axhausen
(2001)

1994). Hier werden die Elemente der Karte in einem zweidimensionalen Raum so verzerrt dass die Abstände zwischen zwei Punkten auf der Karte nicht mehr proportional zur räumlichen Distanz sind - wie bei topographischen Karten – sondern proportional zu den Reisezeiten. Das heisst, bei kurzen Reisezeiten zwischen zwei Orten werden diese auf der Karte nahe zusammenliegend abgebildet und umgekehrt. Der Kartenmassstab bilden also nicht Raumeinheiten, sondern Zeiteinheiten.

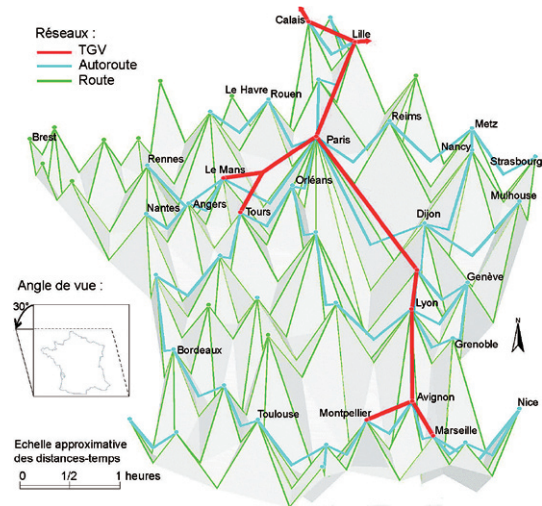
Abbildung 6: Zeitkarte für die europäischen Eisenbahnreisezeiten 1993



Quelle: Spiekermann und Wegener
(1994)

Einen alternativen Ansatz wählt l'Hostis (1997), indem er die Reisezeiten, resp. Reisegeschwindigkeiten unterschiedlicher Verkehrsmittel in einer dreidimensionalen Darstellung visualisiert und die verschiedenen Geschwindigkeiten durch das Relief darstellt (Abb. 7).

Abbildung 7: Zeitkarte mit verschiedenen Verkehrsmitteln

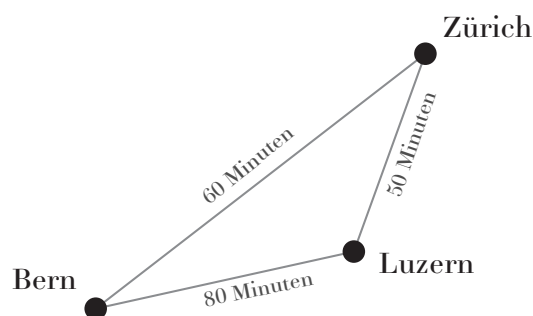


Quelle: L'Hostis, INRETS (2002)

2 Gewählter Ansatz zur Erzeugung der Zeitkarten

Um Zeitkarten zu erzeugen, wird für die Berechnungen eine einheitliche Zeitskala unterstellt. Zeitkarten werden durch Transformation der Raumkoordinaten einer bestehenden Karte in Zeitkoordinaten erzeugt. Man verwendet die Reisezeit zwischen zwei Ortschaften als virtuelle Distanz (siehe Abbildung 8). In einer zweidimensionalen Darstellung ist es nicht möglich, die Zeitdistanzen zwischen allen Punkten exakt wiederzugeben. Zeitkarten sind daher nur Näherungslösungen. Um die Zeitkarten zu berechnen, haben wir die Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate gewählt und die Reisezeiten als Beobachtungen betrachtet (Carosio, 2003).

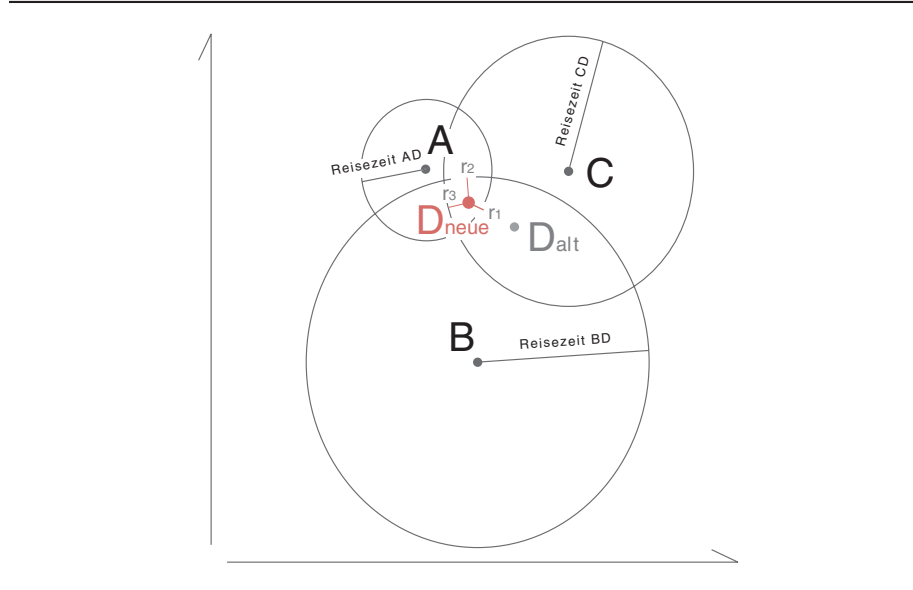
Abbildung 8: Reisezeiten zwischen drei Ortschaften



Mit dieser Methode werden neue Positionen (Zeit-Positionen) für die Ortschaften berechnet, so dass die Abstände die zeitliche Entfernung mit minimalem Fehler wiedergeben. Werden drei Ortschaften berücksichtigt, können mit den zugehörigen drei Reisezeiten, die neuen Zeit-Positionen eindeutig hergeleitet werden. Ab vier Ortschaften entstehen geometrische Widersprüche, da die Fahrdauer zwischen den Ortschaften nicht notwendigerweise proportional zum geometrischen Abstand ist. Die neuen Punkt-

positionen werden so berechnet, dass die Unterschiede (Residuen) zwischen den Entfernungen in der Zeitkarte und den Reisezeiten möglichst klein bleiben (Minimalsumme der Quadrate der Residuen) (siehe Abbildung 9).

Abbildung 9: Positionierung von Ortschaft D mit der Methode der kleinsten Quadrate



Für die gewünschten Zeit-Positionen (Y_i , X_i für die Ortschaft P_i) gilt:

$$\text{Reisezeit } (P_i - P_j) + r_{ij} = \sqrt{(Y_j - Y_i)^2 + (X_j - X_i)^2}$$

Eine solche Gleichung kann für alle verfügbaren Reisezeiten geschrieben werden, um die Zeit-Positionen (X , Y) zu bestimmen. Eine eindeutige Lösung entsteht, wenn die Bedingung

$$\sum r_{ij}^2 = \text{Minimal}$$

erfüllt wird.

Wenn die Reisezeiten unterschiedlich gewichtet werden, wird ein Gewicht (p_{ij}) oder eine Standardabweichung (σ_{ij}) für jede Reisezeit festgelegt ($p_{ij} = 1/\sigma_{ij}$). Die Bedingung lautet dann:

$$\sum p_{ij} r_{ij}^2 = \text{Minimal}$$

So erhält man Zeit-Positionen mit einer Minimalsumme der Quadrate der Residuen (Methode der kleinsten Quadrate).

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

überbewertet wird) berechnet. Die Koordinaten der wichtigsten Knotenpunkte werden im zweiten Schritt beibehalten.

Diese Methode wurde mit der Software **LTOP** (Landestopographie) umgesetzt (Gubler, 2002). LTOP ist in der Schweiz die Standardsoftware für die Ausgleichung geodätischer Netze nach der Methode der kleinsten Quadrate. 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

Man erhält auf diese Weise gestalterisch befriedigende Positionen für alle Ortschaften, welche die zeitliche Distanz zwischen den Punkten mit möglichst geringer Verzerrung wiedergeben.

3 Umsetzung in ArcGIS 9.0

Die beschriebene Ausgleichung liefert eine beschränkte Anzahl Punkte, deren Entfernungen die Reisezeiten bestmöglich abbilden. Um eine Zeitkarte zu erzeugen, benötigt man zusätzlich eine stetige Transformation, welche die bestehende Karte in Übereinstimmung mit den berechneten Punkten bringt.

Gesucht war eine verbreitete GIS-Software, welche Transformationen von Karten ausführen kann. ArcGIS 9.0 (von ESRI) wurde den Anforderungen am besten gerecht, erstens weil diese Software weltweit benutzt wird und zweitens weil in ArcMap einige Funktionen zur Verfügung stehen, die stetige Transformationen ausführen können. Ausserdem kann man mit einer GIS-Software verschiedene Datensätzen verwenden und eine vereinfachte Auswahl der Elemente einer Karte erlauben.

Abbildung 10: Verschiebungsvektoren zwischen geographischen und Zeit-Positionen



Mit den neuen Koordinaten der Ausgleichsrechnung kann man Verschiebungsvektoren (Linkfile) generieren, welche in ArcMap als Eingabe für eine stetige Transformation verwendet werden (siehe Abbildung 10). Die einzelnen Arbeitsschritte und die neue ArcMap Taskleiste werden im Anhang am Schluss dieses Kapitels näher erläutert.

In ArcMap ist die *Rubbersheet* Transformation am geeignetsten für die Aufgabe. Die ersten Versuche zeigten aber, dass die Elemente der Karten hatten nicht immer die gewünschten Eigenschaften hatten. Es ergaben sich manchmal Gebietsüberlappungen oder extrem starke Verzerrungen (siehe Abbildung 11). Zur Vermeidung dieser Probleme wurde neu ein Zwischenschritt eingeschaltet, in welchem für ein dichteres Netz von Punkten geglättete Verschiebungsvektoren berechnet wurden. Die Vektoren für diese zusätzlichen Rasterpunkte wurden aus dem gewichteten Mittel der Originalvektoren berechnet (siehe Abbildung 12 und 13).

Abbildung 11: Darstellungsprobleme mit Rubbersheet bei Verwendung des originalen Satzes an Verschiebungsvektoren

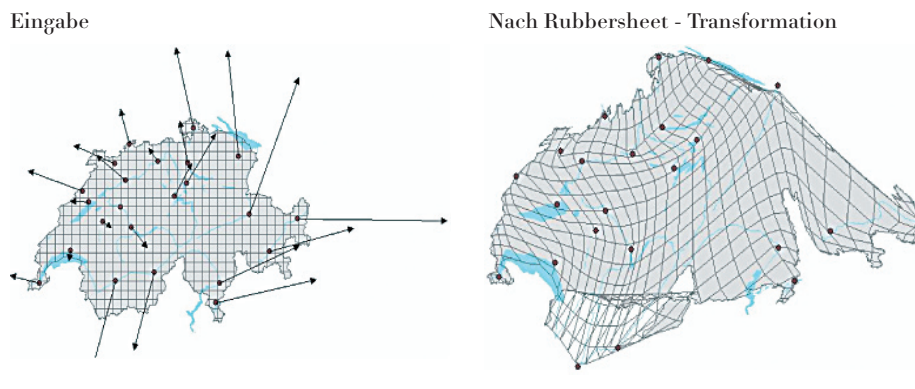
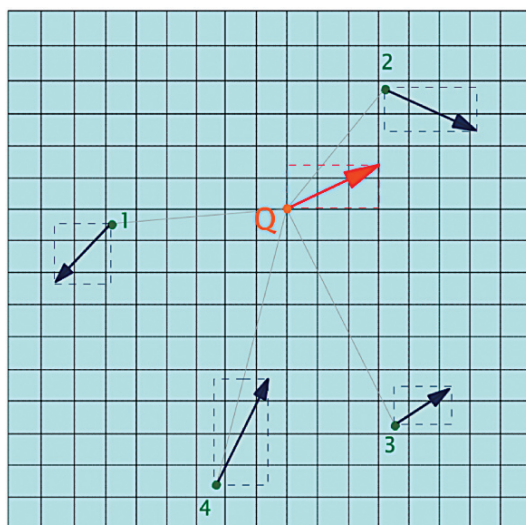


Abbildung 12: Glättung der Verschiebungsvektoren der Rasterpunkte durch Gewichtung der umliegenden originalen Vektoren



$$\Delta X_Q = \frac{\sum_{i=1}^n p_i \cdot \Delta X_i}{\sum_{i=1}^n p_i}$$

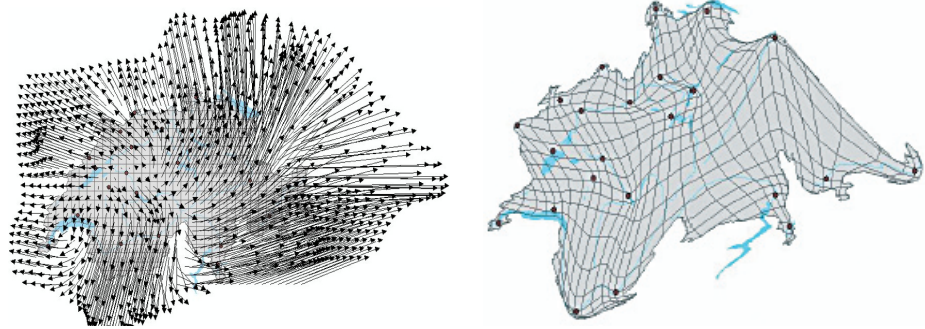
$$\Delta Y_Q = \frac{\sum_{i=1}^n p_i \cdot \Delta Y_i}{\sum_{i=1}^n p_i}$$

$$p_i = \frac{1}{d_i^3}$$

Abbildung 13: Ergebnisse der Rubbersheet Transformation mit dem verdichteten und geglätteten Satz an Verschiebungsvektoren

Verdichteter Vektorsatz

Nach Rubbersheet - Transformation



4 Die Erstellung der Schweizer Zeitkarten

4.1 Allgemeines Vorgehen

Die Reisezeiten im mIV und im ÖV wurden, wie oben beschrieben (Fröhlich, Tschopp und Axhausen, 2003) erstellt. Es lagen damit für jedes Jahrzehnt Reisezeitmatrizen von jeder Gemeinde zu jeder anderen Gemeinde vor.

Für die IV – Zeitkarten wurden 30 übergeordnete Orte ausgesucht, um alle Landesteile abzudecken (siehe Abbildung 15 und Tabelle 1). Im zweiten Schritt werden die weiteren Gemeinden relativ dazu positioniert, wobei jeweils nur diejenigen Verbindungen berücksichtigt werden, welche unter einer bestimmten Reisezeit liegen, in diesem Fall 20 Minuten (siehe Scherer, 2004, Abbildung 17). Für die ÖV-Reisezeiten werden 22 übergeordnete Ortschaften in der Schweiz berücksichtigt (siehe Abbildung 16).

Der Unterschied zu den IV-Karten liegt in den Anbindungen ans benachbarte Ausland. In den ÖV-Matrizen sind lediglich direkte Zugverbindungen ins Ausland berücksichtigt. Deshalb wurde bei den Zeitkarten für den ÖV auf Anbindungen ins Ausland verzichtet.

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 14).

4.2 Erweiterter Ansatz für die ÖV-Zeitkarten

Die Erstellung der Zeitkarten für den Öffentlichen Verkehr zeigte sich schwieriger als erwartet. Die Verbindungen des öffentlichen Verkehrs zwischen peripheren Ortschaften (z.B. Bellinzona-Chur, Bellinzona-Sion) waren nur mit grossen Umwegen und längeren Wartezeiten möglich. Die entsprechenden Fahrzeiten waren für diese Verbindungen so gross, dass die Widersprüche mit den anderen Verbindungen keine optimale Transformation für die Karte erlaubten (siehe Abbildung 17).

Abbildung 14: Festlegungen für die Vergleichbarkeit der Zeitkarten



$$\text{Azimut} = \arctan \frac{\Delta \text{easting}}{\Delta \text{northing}} = \arctan \frac{Y_{\text{St. Moritz}} - Y_{\text{Genève}}}{X_{\text{St. Moritz}} - X_{\text{Genève}}} = 92.35$$

Koordinaten: Genf 500376/117412
und St. Moritz 784102/151669

Verschiedene Verbesserungsmöglichkeiten wurden in Betracht gezogen und untersucht. Die gewählte Lösung folgt der Idee der modernen Ansätze der robusten Statistik (Carosio, 2001). Es wird in Kauf genommen, dass einzelne Zeitdistanzen stark von allen anderen abweichen können (Ausreisser). Eine optimale Schätzung wird in diesen Fällen bestimmt, indem die abnormalen Entfernungen weniger gewichtet werden. Diese Lösung ermöglicht es, die Geländeformen zu erhalten (notwendig für die Interpretierbarkeit) und gibt die meisten Fahrzeiten aus der Karte korrekt wieder. Aus diesem Grund wurden die fünf kritischsten Verbindungen aus den Daten des Jahres 1970 ermittelt. Für diese Verbindungen wurden die Reisezeiten von 1970 für das Jahr 1960 manuell um ca. 20 % und für das Jahr 1950 um ca. 40 % vergrößert (siehe Tabelle 2).

Nur die abweichenden Verbindungen werden in den Zeitkarten nicht mehr exakt abgebildet (siehe Abbildung 18).

Abbildung 15: 30 Orte des übergeordneten Netzes für die IV-Reisezeiten

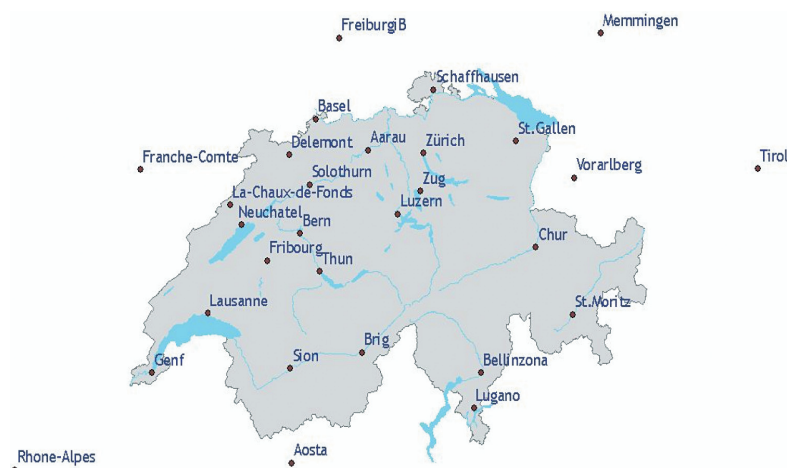


Abbildung 16: Orte des übergeordneten Netzes für die ÖV-Reisezeiten



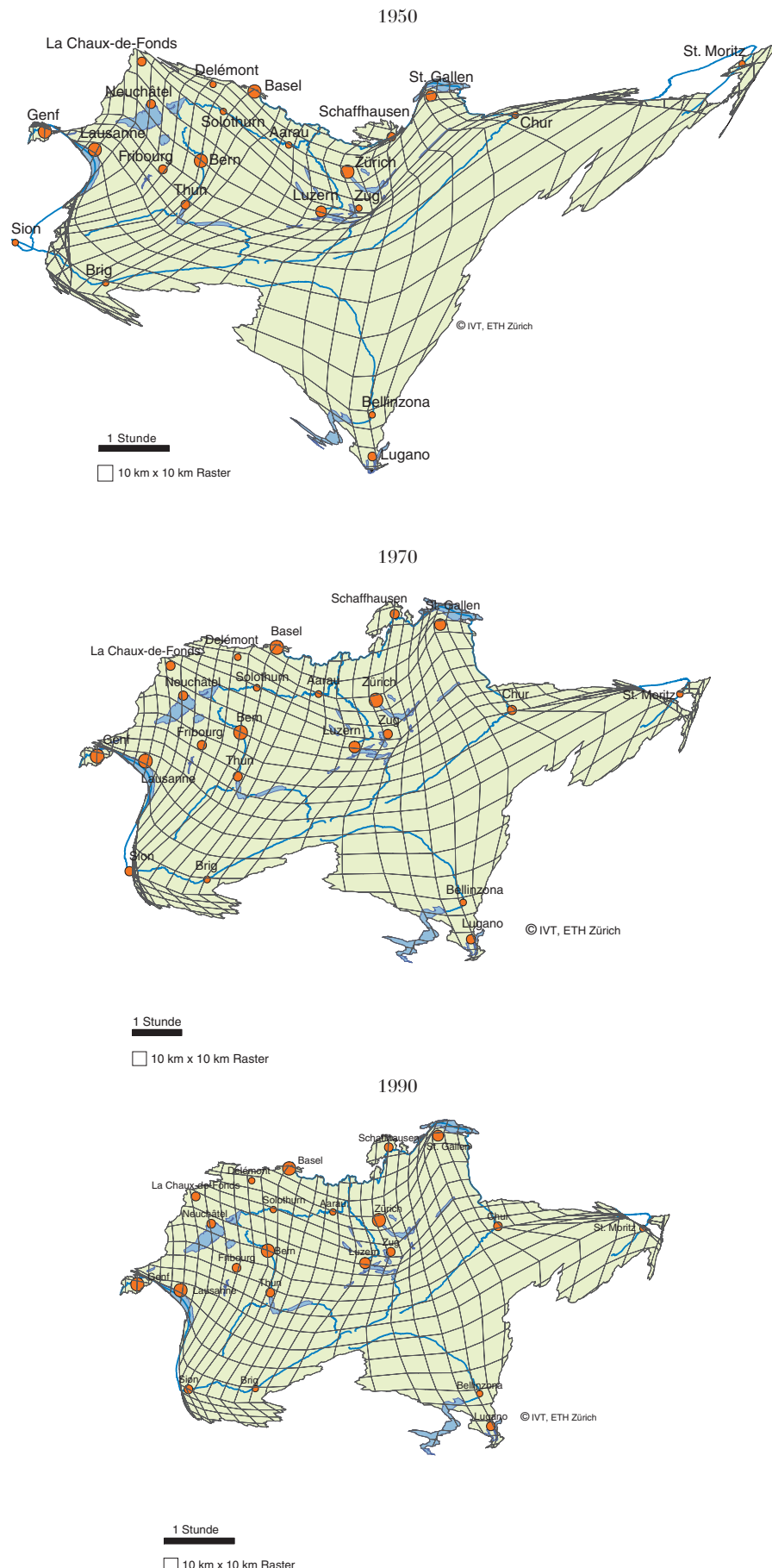
Tabelle 1: Übergeordnete Orte für die Erstellung der Zeitkarten

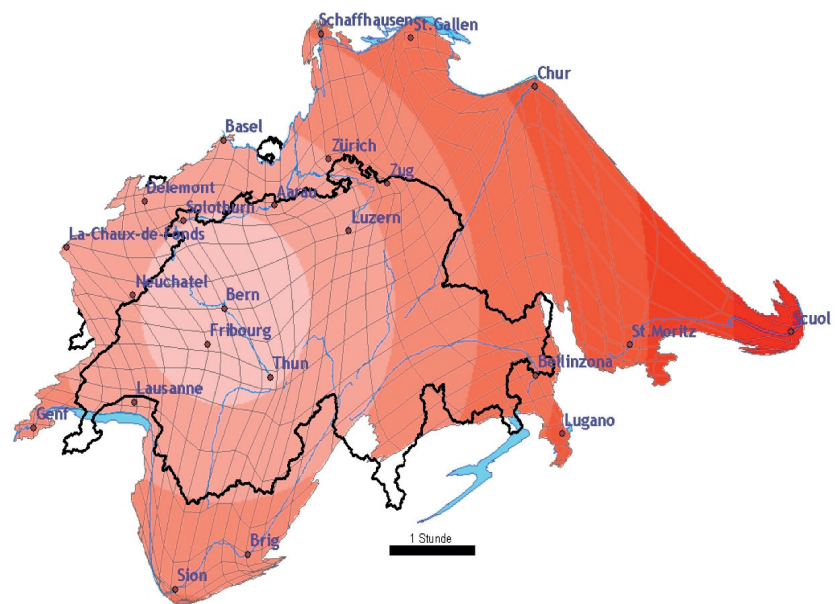
IV-Karten	ÖV-Karten
Aarau	Aarau
Aosta	
Basel	Basel
Bellinzona	Bellinzona
Bern	Bern
Brig	Brig
Chur	Chur
Delemont	Delemont
Franche-Comte	
Freiburg im Breisgau	
Fribourg	Fribourg
Genf	Genf
La-Chaux-de-Fonds	La-Chaux-de-Fonds
Lausanne	Lausanne
Lugano	Lugano
Luzern	Luzern
Memmingen	
Neuchâtel	Neuchâtel
Piemont	
Rhone-Alpes	
Schaffhausen	Schaffhausen
Sion	Sion
Solothurn	Solothurn
St. Gallen	St. Gallen
St. Moritz	St. Moritz
Thun	Thun
Tirol	
Vorarlberg	
Zug	Zug
Zürich	Zürich

Tabelle 2: Verwendete Reisezeiten (min) ÖV 1950 und 1960 nach manueller Anpassung

Verbindung:	Original 1950	Neu 1950	Original 1950	Neu 1960
Bellinzona → Chur	318	200	270	180
Chur → Lugano	353	250	304	230
Bellinzona → Brig	319	241	193	193
Lugano → Brig	360	280	279	250
Sion → Bellinzona	362	280	270	250

Abbildung 17: ÖV-Zeitkarten vor dem erweiterten Verfahren (1950, 1970 und 1990)





5 Ausblick

Die Zeitkarten geben einen intuitiven und ansprechenden Überblick über die relativen Reisezeiten für das betrachtete Jahr und Land. Darüberhinaus kann man aber auch grob abschätzen, um wieviel sich das Land vergrössert oder verkleinert hat. Dabei handelt es sich – wie auch bei den Zeitkarten – um Durchschnittswerte, die mit Vorsicht behandelt werden müssen. Tabelle 3 zeigt die aus ArcMap ermittelten Prozentwerte. Es stellt sich die Frage, ob sich die Schrumpfung der Schweiz in den kommenden Jahren weiter fortsetzen wird.

Tabelle 3 Prozentuale Flächenveränderung der Zeitkarten

	IV	ÖV
1950	100 %	100 %
1960	82 %	92 %
1970	61 %	82 %
1980	52 %	79 %
1990	49 %	79 %
2000	47 %	83 %

6 Literatur

- Axhausen, K.W. (2001) Reisezeiten im Schweizer Eisenbahnnetz 1870–2010, Materialien zur Vorlesung Verkehrsplanung 5, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich
- Carosio, A. (2001) The methods of robust statistics for applications in Geodesy and GIS, IAG - SSG 4.190, March 2001, *IGP – Bericht*, 296, IGP, ETH Zürich, Zürich.

- Carosio, A. (2003) Ausgleichungsrechnung I, Vorlesungsskript IGP, ETH Zürich, Zürich.
- Dolci, C. (2004) Zeitkarten, Powerpoint-Präsentation (unveröffentlicht), Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Hönggerberg, Zürich.
- Gubler, E. (2002) Beschreibung zum Programm LTOP Version 94, http://www.swisstopo.ch/pub/down/download/geo_software/ltop_de.pdf
- Kraak, M. J. (2003) The space-time cube revisited from a geovisualization perspective, Proceedings of the 21st International Cartographic Conference, 1988–1995, Durban, August 2003.
- L’Hostis A. (1997) A 3D Representation for Transportation Networks. *10th European Colloquium of Theoretical and Quantitative Geography*, Rostock, Sept 1997.
- Scherer, M. (2004) Erreichbarkeitsveränderungen in der Schweiz: Eine kartographische Darstellung, Semesterarbeit, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich.
- Shimizu, E. (1993) Time-space Mapping Based on Topological Transformation of Physical Map, *Proc. the 6th World Conference on Transport Research*, Vol. 1, 219–230.
- 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-spamaps of Europe, *Environment and Planning B*, **21** (5) 653–673.
- Tschopp M., P. Fröhlich, P. Keller und K.W. Axhausen (2003) Accessibility, Spatial Organisation and Demography in Switzerland through 1850 to 2000: First Results, Vortrag bei T2M Conference, Eindhoven, November 2003.

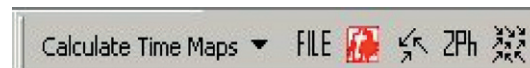
Anhang: Die Implementierung in ArcMap

Die Arbeitsschritte für die Erzeugung unserer Zeitkarten lassen sich in folgende acht Punkte zusammenfassen:

1. Aufbereitung der Eingabedaten der wichtigsten Knotenpunkte für die LTOP-Ausgleichung;
2. Ausgleichung der Zeit-Positionen mittels LTOP;
3. Generierung des Linkfiles für die wichtigsten Knotenpunkte;
4. Aufbereitung der Eingabedaten der weiteren Ortschaften für die LTOP-Ausgleichung;
5. Ausgleichung der Zeit-Positionen mittels LTOP;
6. Generierung des Linkfiles für alle Ortschaften;
7. Berechnung des dichteren Linkfiles;
8. *Rubbersheet*-Transformation in ArcMap.

Zur einfacheren Handhabung wurden in «Visual Basic» Zusatzfunktionen (Dolci, 2004) programmiert, welche in einer neuen Taskleiste in ArcMap (siehe Abbildung 19) implementiert wurden.

Abbildung 19: Taskleiste in ArcMap



Mit Hilfe dieser Werkzeuge ist es möglich, die Reisezeiten bequem darzustellen und die Zeitkarten zu erstellen. Die erste Version dieser Zusatzfunktionen war in Visual C++ programmiert. Für eine bessere Kompatibilität mit der Entwicklungssprache, welche ArcGIS für seine eigenen Applikationen benutzt, wurden diese in Visual Basic übersetzt.

In den folgenden Punkten werden die Buttons mit ihren entsprechenden Funktionsweisen und die Transformation der Karte in ArcMap beschrieben.

A.1 Vorbereitung der LTOP-Input Files



Die Eingabedaten (Reisezeiten und Koordinaten) werden im .txt-Format benötigt und durch Kommas getrennt (siehe Abbildung 20). Die Textdateien für die Reisezeiten enthalten jeweils die beiden Gemeindenamen, die zugehörige Reisezeit (in Minuten) und die Reisezeit multipliziert mit 1000. Zusätzlich wird eine Textdatei mit allen Ortschaften inkl. Koordinaten verwendet, wie sie in der nachstehenden Abbildung ersichtlich ist.

Abbildung 20: Benötigte Input-Informationen: Reisezeiten (links) und Koordinaten (rechts)

Reisezeiten:

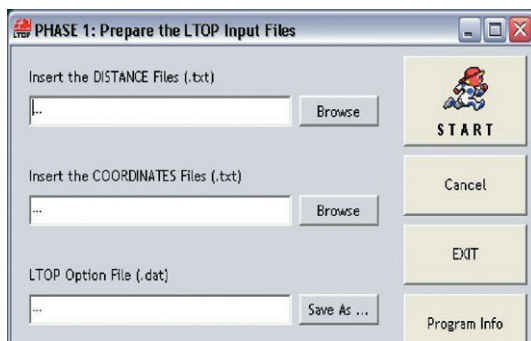
Thun, Lugano, 193, 193000
 Thun, Chur, 166, 166000
 Thun, Brig, 95, 95000
 Thun, Sion, 108, 108000
 Thun, La-Chaux-de-Fonds, 89, 89000
 Thun, Neuchatel, 64, 64000
 Thun, Bern, 26, 26000
 Thun, Delemon, 78, 78000
 Thun, Zürich, 101, 101000

64 min $\frac{60\text{km/h}}{60} = 64000 \text{ m}$

Koordinaten:

942.00, Thun, 613861, 177324
 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

Abbildung 21: LTOP-Input Dateien: Dialog und benötigte und erzeugte Dateien



Eingaben:

Distanzjahr.txt
 Koordinatenhaupt.txt

Ausgaben:

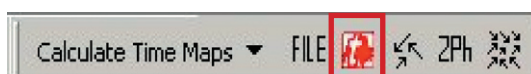
Distanz_jahr.mes
 Koordinaten_haupt.koo
 Jahr_1.dat

A.2 Berechnung mit LTOP



Diese Taste ruft LTOP auf. LTOP berechnet die neuen Zeit-Koordinaten der verwendeten Orte. Die Reisezeiten werden als Beobachtungen betrachtet und mit einer Standardabweichung von 10 min gewichtet.

Abbildung 22: Berechnung mit LTOP: Dialog und benötigte und erzeugte Dateien



Eingaben:

Jahr_1.dat

Ausgaben:

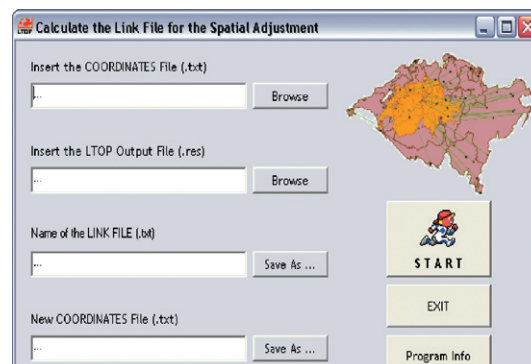
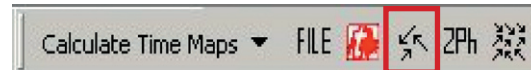
Jahr_1.res

A.3 Linkfile berechnen



Aus dem LTOP Output können nun Verschiebungsvektoren generiert werden, welche die ursprünglichen Koordinaten mit den neuen Zeit-Koordinaten verbinden. Diese Vektoren werden im Linkfile-Format von ArcMap gespeichert. Das Linkfile wird dazu benötigt, Transformationen verschiedener topographischer Daten in ArcMap zu erzeugen.

Abbildung 23: Linkfile berechnen: Dialog und benötigte und erzeugte Dateien



Eingaben:

Koordinaten_haupt.koo
Jahr_1.res

Ausgaben:

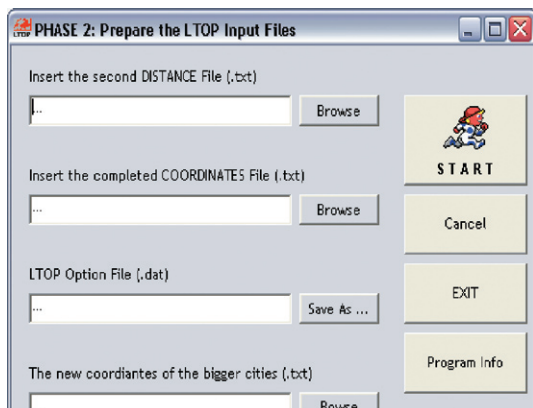
Jahr_1_neue.txt
Link-file (Vektoren):
Jahr_1.txt

A.4 Ergänzung durch weitere Orte (Zweiter Schritt)



Anhand der neuen Koordinaten der wichtigsten Knotenpunkte, werden nach Bedarf die Koordinaten der anderen Ortschaften in einer zweiten LTOP-Ausgleichung berechnet. Zuerst werden die Eingabedaten für die LTOP-Berechnung vorbereitet und anschliessend das Linkfile berechnet.

Abbildung 24: LTOP-Input Dateien für Verdichtung mit weiteren Orten: Dialog und benötigte und erzeugte Dateien



Eingaben:

Distanz_Jahr2.txt
Koordinaten_tot.txt
Jahr_2.dat
Jahr_1_neue.txt

Ausgaben:

Distanz_Jahr2.mes
Koordinaten_tot.koo

Abbildung 25: Berechnung mit LTOP nach der Verdichtung mit weiteren Orten: Dialog und benötigte und erzeugte Dateien



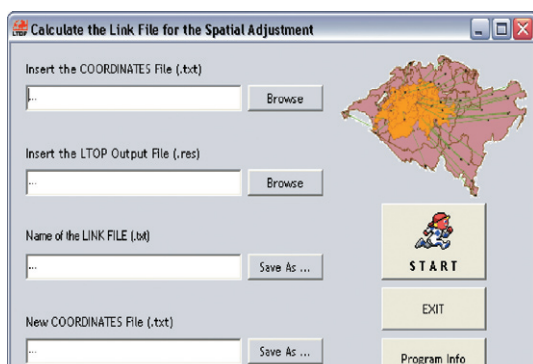
Eingaben:

Jahr_2.dat

Ausgaben:

Jahr_2.res

Abbildung 26: Linkfile berechnen nach Verdichtung mit weiteren Orten: Dialog und benötigte und erzeugte Dateien



Eingaben:

Koordinaten_tot.koo
Jahr_2.res

Ausgaben:

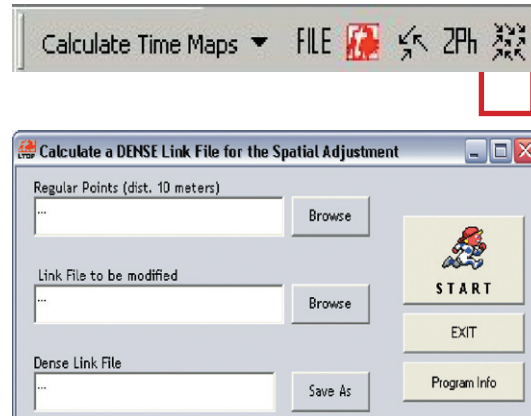
Jahr_tot_neue.txt
Link-file (Vektoren):
Jahr_2.txt

A.5 Berechnung des dichteren Linkfiles



Diese Taste berechnet das dichtere Linkfile mit Hilfe der in 3.3 beschriebenen Transformation der Rasterpunkte in der Datei `points_ch.txt`.

Abbildung 27: Dichteres Linkfile berechnen: Dialog und benötigte und erzeugte Dateien



Eingaben:
`points_ch.txt`
`Jahr_1.txt` oder `Jahr_2.txt`

Ausgaben:
`Jahr_2.res`

A.6 Rubbersheet – Funktion in ArcMap

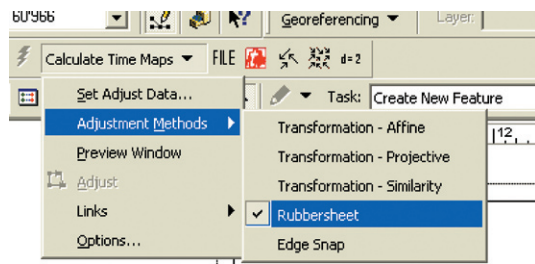
Als nächstes wird die Transformation der Karte mit der *Rubbersheet*-Funktion von ArcMap ausgelöst. Um in ArcMap die Daten modifizieren zu können (z.B. die Grenzen der Schweiz), muss die Funktion *Start Editing* beim *Editor* gestartet werden (siehe Abbildung 28).

Abbildung 28: Start Editing Funktion in ArcMap



Nun kann mit der Transformation der Karte unter dem *Calculate Time Maps* Menu begonnen werden (siehe Abbildung 29). In *Set Adjust Data* werden die zu verzerrenden Daten ausgewählt. Die Transformationsmethode wird im nächsten Schritt unter dem Befehl *Adjustment Methods* festgelegt. 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. Die gewählte Transformation wird mit dem Befehl *Adjust* gestartet

Abbildung 29: Befehle für die Erstellung der Zeitkarte mit Rubbersheet



Wie Reisezeit sichtbar wird

C. Häberling

L. Hurni

1 Grundsätzliches zu kartografischen Darstellungen

1.1 Ziele der Kartografie

Allen realen oder virtuellen Objekten, Phänomenen und Zuständen sowie raum-zeitlichen Prozessen ist gemeinsam, dass sie gegenüber der Erde in einem räumlichen Bezug stehen. Die Kartografie als Teildisziplin der Geomatik und der Geografie will seit jeher solche verorteten Erscheinungen mit visuellen Mitteln sichtbar machen. Dies versucht sie vor allem mit grafischen Zeichen (Symbolen) und einem für die spätere Nutzung geeigneten Abbildungsmedium (Papier, Computerbildschirm) zu erreichen. Da aus praktischen Gründen die Realität nicht in ihren wahren Dimensionen abgebildet werden kann, braucht es eine massstäbliche Verkleinerung dieses Bezugsraumes und der darin befindlichen Objekte. Gleichzeitig müssen die detaillierten geometrischen Formen und thematischen Differenzierungen dem Massstab und dem Abbildungsmedium angepasst, also vereinfacht und zusammengefasst werden. Diese vielschichtigen Arbeitsschritte werden als *kartografische Generalisierung* bezeichnet (Hake et al., 2002).

1.2 Verschiedene Typen von kartografischen Darstellungen

Alle grafischen Darstellungen, die bewusst einen bestimmten Informationsgehalt in seinem geo-räumlichen Bezug abbilden, können als kartografische Darstellungen bezeichnet werden. Unter allen Formen der kartografischen Darstellungen ist die Karte wohl die häufigste. Die International Cartographic Association ICA hat den Begriff «Karte» 1995 definiert als «... *a symbolised image of geographical reality, representing features of characteristics, resulting from creative effort of its authors execution of choice, and is designed for use when spatial relationship are of primary relevance*». Neben dem Raumbezug ist somit die zweckgeleitete, modellhafte Umsetzung der geografischen Realität in ein zeichenorientiertes Abbild der Phänomene und Prozesse von Bedeutung, wobei gleichzeitig die gestalterische Freiheit des Kartenautors betont wird (Häberling, 2004).

Vor allem *topografische Karten* dienen einer möglichst genauen Positions- und Distanzbestimmung von punkt-, linien- und flächenhaften Objekten. In einem engeren Sinne dürfte zum Inhalt einer topografischen Karte nur die Beschreibung der Geländeoberfläche durch Höhenkurven und Kontenpunkte, Bruchkanten und Gerippelinien sowie einer flächenhaften Reliefschummerung oder Geländeschraffen gezählt werden. Neben der eigentlichen Topografie werden auch die natürliche Oberflächenbedeckung (Wald, Fels, Geröll, Seeflächen) und das Gewässernetz in topografischen Karten abgebildet. Weiter kommen Siedlungsstrukturen, Infrastrukturanlagen, Verkehrsnetze sowie wichtige virtuelle Objekte wie administrative Grenzen dazu.

Thematische Karten zeigen spezifische Phänomene oder Prozesse nicht-topografischer Art auf, häufig auf der Grundlage einer vereinfachten topografischen Basiskarte. Diese Sachverhalte müssen nicht immer physisch-geografischer Natur sein. Es werden auch geschichtliche Entwicklungen,

sozio-ökonomische Strukturen oder generell abstrakte Verbreitungsmuster in Karten festgehalten. Dabei müssen die Abbildungen nicht immer massstäblich gehalten werden. So können sie den thematischen Inhalt auch schematisch oder verzerrt repräsentieren.

Als kartografische Darstellungen werden zudem auch alle *perspektivischen Darstellungen* mit einem topografisch-räumlichen Bezug, mit oder ohne ergänzenden thematischen Inhalt, bezeichnet. Zwar ist bei diesen «3D-Karten» die Messbarkeit von horizontalen Strecken wegen Verzerrungen und Verdeckungen und damit die jederzeitige räumliche Zuordnung der Objekte nicht mehr gewährleistet. Doch können die Lage von Objekten gegenüber einer Geländeoberfläche sowie die Höhenverhältnisse oft intuitiver als bei einer Karte in orthogonaler Projektion abgeschätzt werden (Häberling, 2004).

Auch die Verkehrsplanung bedient sich im Allgemeinen thematischer Kartendarstellungen. Je nach darzustellendem Sachverhalt werden dabei unterschiedliche grafische Stilmittel eingesetzt. Zum Beispiel eignen sich Banddiagramme besonders zur Darstellung gemessener Durchflussmengen an bestimmten Punkten eines Strassen- oder Schienennetzes innerhalb einer Zeitperiode, seien dies nun Personen, Fahrzeuge oder Gütermengen. Dabei werden die Verbindungen zweier Netzpunkte entsprechend der Durchflussmenge unterschiedlich breit dargestellt. Die Breiten können je nach Darstellungszweck und Streuung der Daten als lineare oder logarithmische Kontinua oder als gestufte Klassenbreiten definiert sein. Auch relative Zahlenwerte, die sich auf eine Gebietseinheit beziehen (z. B. Fahrtenzahl pro Einwohner während eines Jahres), lassen sich durch eine flächenhafte Choroplethenkarte (Mosaikflächen-Darstellung) visualisieren. Dabei wird der vorliegende Wertebereich in Klassen unterteilt, denen - je nach quantitativer Aussagekraft - Farben oder Muster unterschiedlicher Intensität zugewiesen werden (Imhof, 1972).

1.3 Verschiedene Präsentationsmedien für unterschiedliche Anwendungszwecke

Die einzelnen Darstellungstypen lassen sich grafisch so entwickeln, dass sie zur Präsentation auf verschiedenen Medien geeignet sind. Papier oder andere bedruckbare Materialien eignen sich vor allem zur Darstellung von statischen Situationen oder zur Überlagerung von wenigen Entwicklungsständen des gleichen Phänomens für Vergleichszwecke. Die moderne Drucktechnik ermöglicht heute eine sehr hohe Auflösung. Damit lassen sich feinste grafische Objekte äusserst präzise, passgenau und farbecht drucken. Durch geschickte Überlagerung von Schraffur- oder Punktrastern oder durch Einsatz von transparenten Farben lässt sich die Komplexität solcher Darstellung zwar erhöhen. Doch die Lesbarkeit nimmt mit zunehmender Inhaltsdichte markant ab (SGK, 2002).

Kartografische Darstellungen, die ausschliesslich für den Gebrauch am Computerbildschirm vorgesehen sind, können heute mit interaktiver Funktionalität ausgestattet werden. Diese ermöglicht es, den Karteninhalt durch dynamische und multimediale Komponenten zu erweitern. Der Benutzer erhält somit die Möglichkeit, das gewählte Thema mittels Ebenentechnik (Layertechnik), Zoomfunktionen, sowie eingeblendeten und veränderten

Legendenanpassungen gemäss seinen Bedürfnissen darzustellen. So lassen sich eigentliche kartografische Informationssysteme aufbauen, sei dies als Internet-Applikation oder als eigenständige Anwendung ab Trägermedien wie CD oder DVD (z.B. «Atlas der Schweiz - 2.0» (Swisstopo, 2004)). Allerdings muss dabei die Kartengrafik angepassten Gestaltungsgrundsätzen untergeordnet werden, da Bildschirme noch immer den Nachteil der geringen Bildauflösung aufweisen (Spiess, 1996). So müssen die Kartenobjekte grössere Minstdimensionen aufweisen, die Formen stärker generalisiert sein, die Kartenschrift grösser angezeigt werden und die Farben wegen unterschiedlicher Farbeinstellung bei jedem Bildschirm differenzierter gewählt werden.

1.4 Zusätzliche Geodaten zur räumlichen Verortung

Um einen thematischen Sachverhalt in einer kartografischen Darstellung zu verorten, braucht es ein Bezugssystem (Koordinatensystem) oder ein Basisbild mit allgemein bekannten Objekten. Je nach Massstab und geforderter Genauigkeit genügen dazu bereits einzelne Elemente der Topografie oder der Situation. So lässt sich die thematische Information schon anhand eines bekannten Grenzbildes durchaus lokalisieren. Für mittel- bis kleinmassstäbige verkehrsplanerische Karten sind neben nationalen und regionalen Grenzen vor allem schematisierte Strassen- oder Schienennetze geeignet. Auch Ortssignaturen, die bei solchen Verkehrsnetzen häufig Knotenpunkte darstellen, sowie Gewässer werden zur Orientierung herangezogen. Kommen dazu noch weitere Infrastrukturobjekte wie Tunnels, Passübergänge oder Zollstationen, so erfolgt die Verortung der Information noch präziser. Mit einer flächigen Reliefschattierung, bei der die topografischen Verhältnisse einfach abgeschätzt werden können, wird die Referenzierung zusätzlich gesteigert. Zudem liefert es oft plausible Erklärungen für die Verteilung der dargestellten Phänomene, z.B. bei alpenquerenden Transportströmen.

2 Erstellung der Kartenbeilagen

2.1 Angestrebte Visualisierungsziele

Die gedruckten Kartenbeilagen bilden einen integralen Bestandteil der vorliegenden Publikation. Sie fassen die Aussagen zur Verkehrsentwicklung in den letzten fünfzig Jahren zusammen und stellen die Untersuchungsergebnisse statisch dar. Zwölf der Beilagen beziehen sich jeweils auf den Entwicklungsstand eines der beiden Verkehrsmittel «Öffentlicher Verkehr» oder «Motorisierter Individualverkehr» in den Jahren 1950, 1960, 1970, 1980, 1990 oder 2000. Durch Auslegung mehrerer Abbildungen kann die Entwicklung zwischen verschiedenen Zeitständen nachvollzogen werden. Zudem ermöglichen sie den Vergleich innerhalb des Verkehrsmittels zwischen bestimmten Zeitpunkten. Da die Kartenbeilagen auch unabhängig vom Text gelesen werden sollen, sind sie mit entsprechenden Erklärungen zu den Einzelkarten ergänzt. Die dreizehnte Beilage enthält alle zwölf «reisezeitskalierten Karten» und sowie alle Abbildungen zu Erreichbarkeiten. Sie ermög-

licht damit einen visuellen Überblick über die Entwicklung der Reisezeiten bei den jeweiligen Verkehrsmitteln in den letzten fünfzig Jahren.

2.2 Erstellungssoftware

Alle Kartenbeilagen wurden mit *ADOBE Illustrator* erstellt, einem professionellen Grafikprogramm, das auch in der Kartografie häufig Anwendung findet. Dank Ebenentechnik und Bildschirmpräsentation nach dem *WYSIWYG*-Prinzip (*«What you see is what you get»*) lässt sich die Dokumentstruktur übersichtlich aufbauen. Die Kartenobjekte und Textblöcke können mit der Vielzahl von Gestaltungswerkzeugen einfach editiert und präzise positioniert werden. Die benötigten Grundlagedaten sind oft verschiedenen Ursprungs. Mit geeigneten Importfiltern gelingt es, die Daten trotz unterschiedlicher Grafikformate in einer solchen *Illustrator*-Datei zu integrieren. Weitere Gestaltungsprozesse wie das Einfärben der Objekte sowie das Anpassen von Umrissen, Grössen und Konturstärken geschehen über entsprechende Eingaben in Attributmasken und Funktionsoptionen. Auch die Exportfunktionalität zur Vorbereitung der Datei für den weiteren Druckprozess ist eine Stärke dieser Software.

2.3 Inhalt und Layout der Kartenbeilagen

Jede der zwölf Kartenbeilagen (eingesteckt im hinteren Broschürenumschlag) beinhaltet jeweils vier thematische Kartenabbildungen, die auf dem Papierbogen stets gleich angeordnet sind. Bei diesen Abbildungen handelt es sich um eine so genannte «reisezeitskalierte Karte» der Schweiz, eine perspektivische Abbildung zur Erreichbarkeit, eine Kartenserie zu Reisezeit-Isochronen für die Ausgangsorte Lausanne, Zürich und Chur sowie eine thematische Karte zur Bevölkerungsdichte. Eine dreizehnte Kartenbeilage umfasst eine Übersicht mit allen reisezeitskalierten Karten und perspektivischen Abbildungen zu Erreichbarkeiten.

Reisezeitskalierte Karte der Schweiz: Die Entwicklung der Reisezeit zwischen einzelnen Schweizer Orten bildet den thematischen Schwerpunkt der vorliegenden Broschüre. Demzufolge beansprucht die reisezeitskalierte Karte flächenmässig jeweils auch den meisten Platz auf einzelnen Kartenbeilagen. Die Abbildung beinhaltet ein geometrisches Verzerrungsgitter, bei dem die Entfernungen zwischen bestimmten Orten der minimal möglichen Reisezeit beim jeweiligen Verkehrsmittel entspricht. (Die Ableitung dieses nicht-massstäblichen Gitters mitsamt Gewässernetz, Seeflächen und Landesgrenze wird im Beitrag von A. Carosio und C. Dolci näher beschrieben.)

Die Erstellung jeder Inselkarte, also einer Abbildung ohne das angrenzende Ausland, erfordert diverse Arbeitsschritte: Die verzerrten Gitternetze sowie die daran angepassten Gewässernetze liegen zunächst als vektorbasierte GIS-Daten im *Shape*-Format vor. In der GIS-Software *ArcMap* von *ESRI* wurde sodann jede einzelne Datenebene im *Illustrator*-Format exportiert. Anschliessend wird sie in vorgängig definierte Ebenen ins *Illustrator*-Kartenfile hineinkopiert und aufeinander ausgerichtet. Bei der Positionierung der Karte innerhalb des vorgesehenen Blattbereiches wird auf eine

möglichst gute Raumfüllung geachtet. Die Platzierung der Punktsymbole von neunzehn verkehrstechnisch wichtigen Orten sowie deren Beschriftung wird manuell vorgenommen. Die Einfärbung der Hintergrundfläche jedes Verzerrungsgitters wird entsprechend des Verkehrsmittels vorgenommen: Ein helles Grün für den öffentlichen Verkehr bzw. ein dezentes Ocker für den motorisierten Individualverkehr lassen die Zugehörigkeit zum Verkehrsmittel schnell erkennen. Die Farben und die Konturstärken für das Gitternetz, für die Landesgrenze sowie für das Gewässernetz und die Seeflächen werden dagegen einheitlich festgelegt.

Perspektivische Abbildung zur Erreichbarkeit: Bei den kleinen Abbildungen zur Erreichbarkeit handelt es sich um statistische Oberflächen in perspektivischer Schrägansicht («Erreichbarkeitsgebirge»). Diese leiten sich aus der Modellierung einer Gemeinde bezüglich Angebotsqualität des Verkehrsnetzes und ihren Einwohnern ab (vgl. Beitrag von K. W. Axhausen und P. Fröhlich). Mit der *ArcGIS*-Extension *3D-Analyst* werden die Ergebnisse sodann einer Dreiecksvermaschung unterzogen, wobei für jeden Dreieckspunkt ein numerischer Höhenwert resultiert. Anschliessend wird dieses «Wertgebirge» durch Rendering als perspektivisches Bild visualisiert. Die erhaltene Rasterdatei im Rot/Grün/Blau-(RGB)-Farbmodus kann durch entsprechende Einstellung der Farbkanäle in *ADOBE Photoshop* in den jeweiligen Grundton des Verkehrsmittels umgefärbt werden. Das Rasterbild wird danach in die *Illustrator*-Datei importiert, auf die gewünschte Dimension skaliert und gemäss dem Layout platziert.

Kartenserie zu Reisezeit-Isochronen: In der Verkehrsplanung sind Reisezeit-Isochronen Begrenzungslinien, innerhalb denen sich alle Punkte befinden, die von einem Ausgangspunkt in einer gewissen Zeit zu erreichen sind. Diese Punkteschar kann einerseits als Fläche um den Ausgangspunkt dargestellt werden. Andererseits ist auch ein lineares Netz denkbar, dessen Endpunkte die äusserste zeitliche Entfernung vom Ausgangspunkt darstellen, wenn der zurückgelegte Weg entlang der Netzverbindungen verläuft (vgl. Beitrag von K. W. Axhausen und P. Fröhlich).

In jeder Kartenbeilage ist eine Kartenserie mit je drei Rahmenkarten zu Reisezeit-Isochronen integriert. Die Ausgangspunkte sind jeweils Lausanne, Zürich und Chur. Bereits damit ist ein landesweiter Vergleich zur Qualität der Verkehrsversorgung im entsprechenden Jahr möglich. Die Grunddaten der Reisezeit-Isochronen mit je drei Klassengrenzen liegen pro Verkehrsmittel unterschiedlich vor: Während beim öffentlichen Verkehr die berechneten Begrenzungen als Flächen im Rasterformat erzeugt werden, werden beim motorisierten Individualverkehr die Klassen auf einem schematisierten, vektoriell vorhandenen Autobahn- und Hauptstrassennetz berechnet. Als stark generalisierte Basiskarte werden bei allen Isochronen-Darstellungen zusätzlich eine Reliefschattierung im Rasterformat sowie ein Gewässernetz mit Seen und Landesgrenze in Vektorform hinzugefügt. So können sowohl die flächig dargestellten, in unterschiedlich hellen Grüntönen eingefärbten Reisezeit-Klassen des öffentlichen Verkehrs als auch die in Rot, Orange und Ocker abgestuften Teilnetze des motorisierten Individualverkehrs sehr schnell interpretiert werden. Dank des feingliedrigen, orientierenden Basisbildes ist für Kartenleser mit geografischen Kenntnissen über die Schweiz die Abschätzung der Isochronengrenzen recht einfach,

und dies trotz fehlender weiterer Ortsnamen. Die rasterbasierten Isochronen-Klassen beim öffentlichen Verkehr müssen vor der Integration in die *Illustrator*-Datei noch mit der Reliefschattierung kombiniert werden. Auf eine transparente Darstellung der Isochronen-Flächen wird allerdings bewusst verzichtet, da die dreigestufte grüne Farbskala möglichst rein im Gesamtbild erscheinen sollte. Auch hier werden bei beiden Verkehrsmitteln die weiteren Objekte der topografischen Basiskarte darüber gelegt und einheitlich kartografisch gestaltet.

Choroplethenkarte zur Bevölkerungsdichte: Alle Kartenbeilagen beinhalten eine fünfstufige Choroplethenkarte (Mosaikflächenkarte) zur Bevölkerungsdichte auf Bezirksebene für das entsprechende Jahr. Die Grundlagen dazu stammen aus dem digitalen *Atlas der Schweiz* - 2.0 (Swisstopo, 2004). In dieser Atlas-Applikation wird zunächst das Thema so modelliert, dass neben dem Jahr und den Bezirken als Aggregationsstufe auch sinnvolle Grenzen für fünf Dichteklassen festgelegt wurden. Daraus resultiert jeweils ein Rasterbild mit integrierter Reliefschattierung. Bei der Einfärbung der Klassen mit einem kontinuierlichen Verlauf von Gelb zu Dunkelrot wird das kartografische Gestaltungsprinzip befolgt, wonach derjenigen Klasse mit der geringsten Bevölkerungsdichte der hellste, jener mit der grössten der dunkelste Farbton zugewiesen werden soll (Imhof, 1972). Das Rasterbild wird dann in der *Illustrator*-Datei mit generalisierten Vektordaten von Landes- und Bezirksgrenzen sowie dem Gewässernetz überlagert.

Übersicht mit reisezeitskalierten Karten und Abbildungen zu Erreichbarkeiten: Die dreizehnte Kartenbeilage enthält eine Zusammenstellung aller reisezeitskalierten Karten sowie den Abbildungen zu Erreichbarkeiten für beide Verkehrsmittel. Diese Darstellung ermöglicht so einen Vergleich der unterschiedlich verzerrten Gebietsformen und der unterschiedlichen «Erreichbarkeitsgebirgen» auf einen Blick. Die Abbildungen stammen aus den einzelnen Kartenbeilagen. Allerdings werden sie dazu verkleinert wiedergegeben. Dies ergibt deshalb ein sehr feingliedriges Grenz- und Gewässernetz. Auf eine massstabsgerechte Generalisierung wird aber aufgrund des hohen Aufwandes verzichtet.

2.4 Fazit zu Kartenbeilagen

Der beschriebene Erstellungsprozess der Kartenbeilagen führt schlussendlich zu einem möglichen Gestaltungsvorschlag unter vielen. Wichtig bei der kartografischen Visualisierung ist jedoch, dass trotz aller gestalterischen Freiheit bezüglich Diagrammformen, Farben oder Positionierung eine eindeutige Aussagekraft der grafischen Stilmittel sowie die Lesbarkeit der Kartengrafik angestrebt werden. Durch konsequente Einhaltung eines übersichtlichen Layouts sind Kartenbeilagen mit korrespondierenden Einzelkarten geschaffen worden, welche die vorliegenden verkehrsplanerischen Forschungsergebnisse anschaulich zu vermitteln helfen. Es können damit problemlos Vergleiche bezüglich Verkehrsmittel oder Zeitpunkt angestellt werden. Auch kann die zeitliche Entwicklung ohne weiteres nachvollzogen werden. Eine benützergerechte Beschriftung sowie die gewählte einheitliche Farbgebung unterstützen diese Absicht zusätzlich.

3 Literatur

- Häberling, C. (2004) *Topografische 3D-Karten – Thesen für kartografische Gestaltungsgrundsätze*, Dissertation, Institut für Kartographie der ETH Zürich, Zürich.
- Hake, G., D. Grünreich und L. Meng (2002) *Kartographie – Visualisierung raum-zeitlicher Informationen*, Verlag Walter de Gruyter, Berlin/New York.
- Imhof, E. (1972) *Thematische Kartographie*, Verlag Walter de Gruyter, Berlin/New York.
- SGK (Schweizerische Gesellschaft für Kartographie) (2002) *Topografische Karten – Kartengrafik und Generalisierung, Kartografische Publikationsreihe*, **16**, Bern.
- Spiess, E. (1996) Digitale Technologie und graphische Qualität von Karten und Plänen, *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik*, **9**, 467–472.
- Swisstopo (Bundesamt für Landestopografie) (2004) *Atlas der Schweiz – 2.0*, CD-ROM/DVD, Wabern.



Schutzgebühr: CHF 40.–
ISBN 3-906441-09-1