

Philipp Fröhlich, Martin Tschopp und Kay W. Axhausen

Entwicklung der Erreichbarkeit der Schweizer Gemeinden: 1950 bis 2000

Development of the Accessibility of Swiss Municipalities: 1950 to 2000

Kurzfassung

Die Erreichbarkeit der Schweizer Gemeinden hat sich in den letzten 50 Jahren durch den Straßennetzausbau, die Angebotsausweitung im öffentlichen Verkehr und die Bevölkerungszunahme substanziell verändert. Der Aufsatz beschäftigt sich mit den ersten beiden Einflussgrößen und stellt die Resultate in ihrem räumlichen Kontext dar. Das Verhältnis der Erreichbarkeit im Straßenverkehr zur Erreichbarkeit im öffentlichen Verkehr hat sich in der betrachteten Zeitperiode von 1950 bis 2000 nur wenig verändert.

Abstract

The accessibility of the Swiss municipalities has changed substantially in the last 50 years due to the extension of the road network, improvements of the public transport and population growth. The paper deals with the first two variables and the resulting changes. The ratio of road-based to public transport-based accessibility has changed little over the time period from 1950 to 2000 in Switzerland.

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 Infrastruktur wurden in den vergangenen Jahrzehnten weltweit im Einklang mit diesem Ansatz stark ausgebaut (für die Schweiz siehe Kesselring/ Halbherr/ Maggi 1982; Widmer/Meister 2005).

Die Frage nach dem Zusammenhang zwischen Infrastrukturverbesserung und ökonomischem sowie demographischem Wachstum gehört zu den Kernfragen sowohl der Regionalforschung als auch der Transport- und Verkehrsplanung. Sie wird, wenn es um neue Investitionen geht, auf politischer Ebene kontrovers diskutiert. Auch wenn Verkehrsnetze nur eine notwendige und keine hinreichende Voraussetzung für Wachstum sind, sind Zusammenhänge scheinbar offensichtlich. Über das Ausmaß der Wechselwirkungen zwischen diesen Wachstumspfaden besteht aber nach wie vor Unklarheit. Beispielsweise wäre zu klären, ob der Ausbau der Straßen die (demographische) Entwicklung auslöste

oder ob der Netzausbau lediglich eine Reaktion auf diesen Wandel darstellt. Diese Thematik wird zwar in bedeutenden empirischen Arbeiten aufgegriffen (z. B. Aschauer 1989; Fernald 1998; Holtz-Eakin 1994; Munnell 1990; Nadiri 1998; Bröcker/Kanse/Schürmann/Wegener 2002; Shirley/Winston 2004), allerdings nicht in wünschenswerter Tiefe. Entweder sind die geographischen Untersuchungseinheiten (z. B. US-Bundesstaaten, englische Counties) eher grob oder es handelt sich um räumlich stark begrenzte Fallstudien. Zudem erstrecken sich die Untersuchungszeiträume häufig über nicht mehr als zehn bis zwanzig Jahre, werden die Eisenbahnnetze in der Regel ignoriert und wird die Wirkung der Verkehrsnetze nur mit den für sie nötigen Baukosten abgeschätzt und nicht mit den von ihnen erbrachten Dienstleistungen.

Ziel des vorliegenden Beitrags ist es, die Entwicklung der Infrastruktur des öffentlichen und des Individualverkehrs möglichst fein und über einen langen Zeitraum nachzuzeichnen, um so Grundlagen für tiefere Analysen der angesprochenen Wirkungszusammen-

hänge bereitzustellen. Ein Indikator für die Dienstleistung einer neu erstellten Verkehrsinfrastruktur ist die veränderte Erreichbarkeit der daran angeschlossenen Orte. Die Erreichbarkeit ist das Bindeglied zwischen Verkehrsinfrastruktur und Landnutzung und ein Mass für die Attraktivität der Lage einer Region. Dabei interessieren folgende Fragen: Wie hat sich die Erreichbarkeit entwickelt? Wie variiert diese Entwicklung im Raum? Welches sind die dazu benötigten Berechnungsgrundlagen?

Untersuchungsraum ist die Schweiz mit ihren benachbarten Gebieten, die kleinste Untersuchungseinheit ist die Gemeinde bzw. der Stadtkreis (d. h. ein Quartier einer größeren Schweizer Stadt). Den Untersuchungszeitraum bilden die Jahrzehnte zwischen 1950 und 2000. Für diese wurden Datenreihen auf Gemeindeebene und entsprechende Verkehrsnetze aufgebaut. 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 (Tschopp/Keller/Axhausen 2003). Die Schweiz umfasst heute 2 896 Gemeinden. Die Verkehrsmodelle wurden am Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme – IVT der ETH Zürich erstellt (siehe Fröhlich/Frey/Reubi/Schiedt 2003).

Schwerpunktmäßig beschreibt dieser Beitrag die zugrunde liegenden Verkehrsmodelle zur Berechnung der Reisezeiten für den motorisierten Individualverkehr (MIV) und den öffentlichen Verkehr (ÖV) und analysiert die mit diesen Reisezeiten berechneten Erreichbarkeitswerte. Dem technischen Detail wird ungewöhnlich grosser Raum eingeräumt, da manche dieser Details Wirkungen haben, die das Gesamtergebnis prägen.

Die Erreichbarkeit wird verstanden als Maß für die Angebotsqualität des Verkehrsnetzes an einem bestimmten Punkt. Den Arbeiten von Williams (1977), Ben-Akiva und Lerman (1985), Rietfeld und Bruinsma (1998), Geurs und Ritsema van Eck (2001) folgend haben wir den Log-Sum-Term eines einfachen Logit-Zielwahlmodells verwendet, den theoretisch am besten begründeten Indikator:

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

mit	E_i	Erreichbarkeit der Zone i
	X_j	Anzahl der Aktivitätspunkte (z. B. Bevölkerung) in Zone j
	c_{ij}	Generalisierte Kosten bzw. Reisezeit zwischen Zone i und j
	β	Gewichtungsfaktor

Der Log-Sum-Term eines diskreten Entscheidungsmodells beschreibt den Gesamtnutzen des vorliegenden Alternativensatzes, hier aller Zonen des Untersuchungsgebiets (Ben-Akiva/Lerman 1985). Williams (1977) zeigt nun zusätzlich, dass dieser Term die Konsumentenrente der Entscheider misst, d.h. der Wert des Log-Sum-Terms ist ein wohlfahrtsökonomisch korrektes und vollständiges Maß des Nutzens der Zonen für die Bevölkerung. Er hat also die Einheit Nutzen und kann, wenn gewünscht und entsprechende Umrechnungskurse vorhanden sind, zum Beispiel monetarisiert werden. Die hier implizierte Nutzenfunktion des zugrunde liegenden Zielwahlmodells ist sehr einfach, da sie nur eine Variable zur Beschreibung des Ziels verwendet – in der Regel die Wohnbevölkerung – und die generalisierten Kosten ebenfalls nur mit einer Variable erfasst, hier den Reisezeiten. Wenn man sich vom Nutzenkalkül löst, könnte man in dieser Konstellation von nicht-linear reisezeitgewichteten Personen als der Einheit der Erreichbarkeit sprechen, also einem Maß der möglichen Kontakte. Es ist offensichtlich, dass dieses Zielwahlmodell weder sehr differenziert in der Beschreibung des Ziels noch in der Abbildung der generalisierten Kosten ist. Weitere vertiefende Arbeiten sind in der Dissertation des Mitverfassers Fröhlich geplant. Für eine ausführliche Diskussion möglicher anderer Gewichtungsfunktionen für Erreichbarkeitsberechnungen jenseits der Exponentialfunktion des Logit-Modells sei auf Kwan (1998) verwiesen.

Bei der obigen Berechnung der Erreichbarkeiten werden sowohl die Reisezeit als auch die Anzahl der Bewohner nicht-linear miteinander verknüpft. Dies bewirkt, dass die Wirkungen der beiden nicht getrennt identifiziert werden können. Um die Veränderungen der Netze getrennt betrachten zu können, wurde zusätzlich die mittlere Geschwindigkeit jeder Zone, gewichtet mit dem Beitrag jeder Zone j zur Erreichbarkeit der Zone i, gemittelt über alle Zonen berechnet:

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

mit	v_i	mittlere Geschwindigkeit für Zone i
	E_i	Erreichbarkeit Zone i
	d_{ij}	Strassendistanz zwischen Zone i und j
	v_{ij}	Geschwindigkeit zwischen Zone i und j aus d_{ij} und c_{ij}
	c_{ij}	Reisezeit zwischen Zone i und j
	X_j	Anzahl der Aktivitätspunkte (z. B. Bevölkerung) in Zone j
	β	Gewichtungsfaktor

Somit erhält man einen Indikator, der die Entwicklung des Angebots widerspiegelt, und zwar in Abhängigkeit von den für die Zone wichtigen Aktivitätspunkten. Als Distanz wurde für beide Verkehrssysteme die kürzeste Straßendistanz verwendet, da diese in verlässlicherer Form vorliegen als die ÖV-Distanzen. Die Straßendistanzen wurden verwendet, um die mindest notwendigen Distanzen bei der Berechnung zu berücksichtigen (zur Analyse der systematischen Abweichungen zwischen Luftliniendistanzen und kürzesten Wegen in belasteten und unbelasteten Netzen siehe Chalasani/Engelbrechts/Denstadli/Axhausen, im Druck).

2 Details der Erreichbarkeitsberechnung

Die Berechnung der Erreichbarkeit verlangt die Abschätzung der generalisierten Kosten. In der vorliegenden Arbeit, wie auch in den meisten anderen Studien zu diesem Thema, werden die generalisierten Kosten mit der Reisezeit zwischen den Zonen gleichgesetzt. Die Netzmodelle zur Berechnung der Wege mit den kürzesten Reisezeiten wurden mit Hilfe der Software VISUM¹ realisiert. Die zugehörigen Algorithmen werden zum Beispiel in Schnabel/Lohse (1997) oder Ortuzar/Willumsen (2001) im Detail erläutert.

Die Reisezeit im MIV setzt sich zusammen aus den Anbindungszeiten (vom Zonenschwerpunkt zum nächstgelegenen Knoten im Straßennetz am Anfang und Ende der Fahrt) und aus den Streckenfahrzeiten. Im ÖV besteht die Reisezeit aus der Summe der Anbindungszeiten, der Fahrzeit und der Umsteigewartezeit. Die Berücksichtigung des ÖV-Takts wurde vernachlässigt, da sich sonst bei schlecht erschlossenen Zonen unrealistisch hohe Reisezeiten ergeben. Die verbesserte Koordinierung des ÖV-Angebots insbesondere ab 1980 ist nur durch die Verbesserung der Umsteigewartezeiten erfasst. Die Berechnungen sollten deshalb die weiteren Verringerungen der generalisierten Kosten im ÖV (Reduktion der geplanten Verfrühungen und Verspätungen²) unterschätzen, damit auch die Erreichbarkeitsentwicklung.

Als Teil der Netzmodellierung müssen Festlegungen für die räumliche Auflösung und die intrazonale Reisezeit sowie für die Detaillierung der MIV- wie auch ÖV-Netze getroffen werden. Ferner muss für die Erreichbarkeiten der Gewichtungparameter der generalisierten Kosten festgelegt oder ermittelt werden.

Die räumliche Auflösung

Idealerweise würde man die Reisezeit zwischen Hausadressen berechnen, da so die räumliche Variation in den Reisezeiten bzw. den generalisierten Kosten voll-

ständig 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/Nagel (2003) verwiesen.

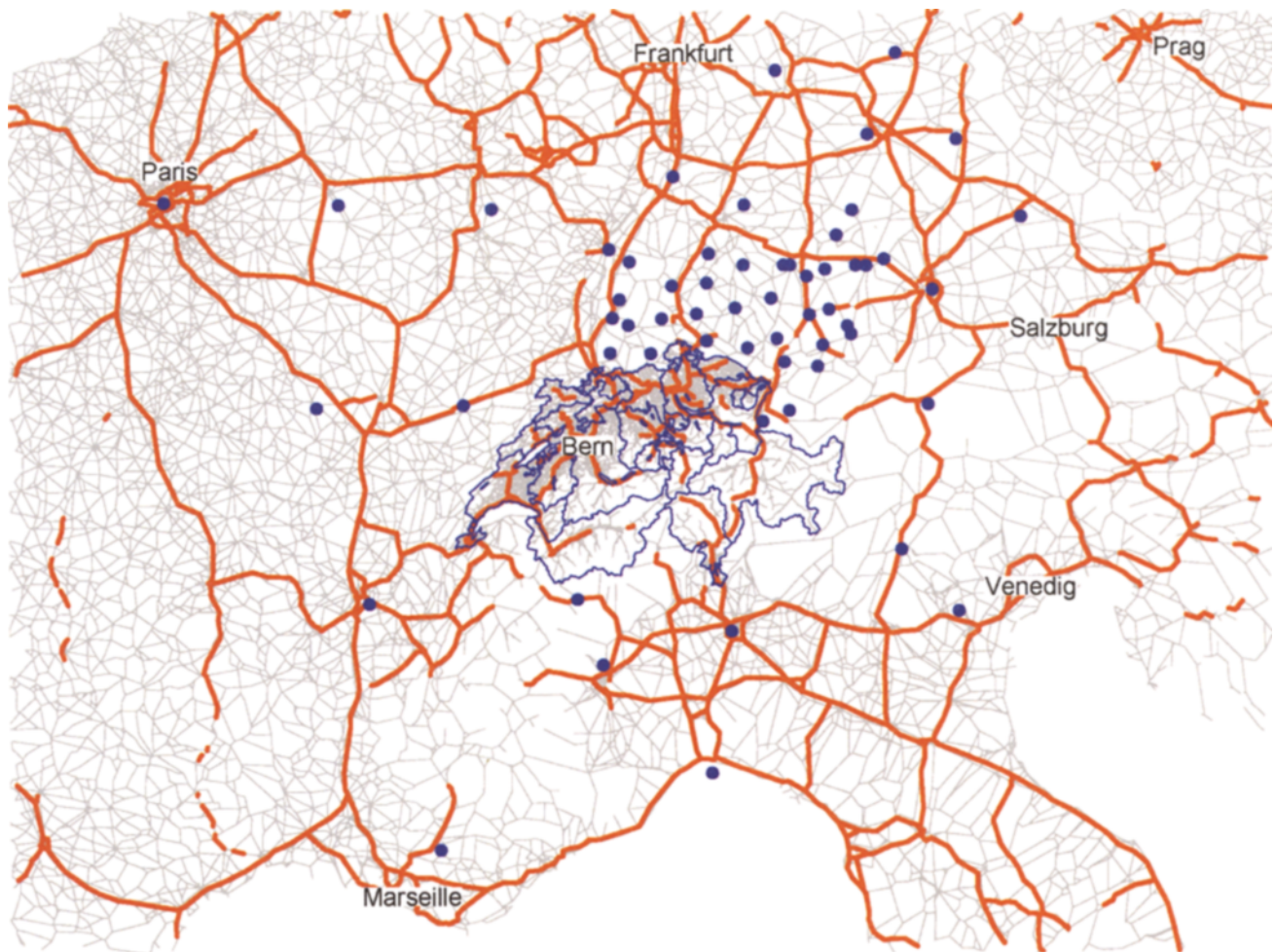
Die verschiedenen Standorte werden daher zu Zonen aggregiert, die durch einen zugehörigen (bevölkerungsgewichteten) Schwerpunkt abgebildet werden. Dieser repräsentiert alle Aktivitätsmöglichkeiten als Punkt und ist damit auch die Quelle bzw. das Ziel für alle aus- und einströmenden Fahrten.

Die Schweiz bestand 2000 aus 2 896 Gemeinden mit insgesamt 7,1 Mio. Einwohnern. Im Vergleich zu den Nachbarländern gibt es 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) für die über 300 betroffenen Gemeinden durchgeführt wurde.

Die Größe einer Zone hat direkte Auswirkung auf den berechneten Erreichbarkeitswert (s.u.), insbesondere in 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 ersteren sehr kurz sein kann. Ein Beispiel ist Zürich und Opfikon, da die Schwerpunkte jeweils in Bahnhofsnähe liegen. Vorliegend werden deshalb die Großstädte (Zürich, Genf, Basel, Bern und Lausanne) entsprechend der politischen Aufteilung der Städte in sechs bis zwölf Zonen zergliedert und die restlichen Gemeinden als eine Zone behandelt.

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 direkt an der Grenze (Genf und Basel) oder sehr grenznah (Lugano). Die Erreichbarkeit dieser Städte wird somit stark von Aktivitätsmöglichkeiten außerhalb der Schweiz beeinflusst. Daher wurden hier die Aktivitätspunkte in den Nachbarländern bis zu einem Abstand von 350 km ab Schweizer Grenze berücksichtigt (vgl. Abbildung 1). Für Deutschland, Liechtenstein und Österreich war es möglich, die Bevölkerungsdaten auf NUTS3-Niveau zu erhalten. Für Frankreich und Italien konnten diese Daten nur auf NUTS 2-Ebene zusammengetragen werden.

Abbildung 1
Untersuchungsperimeter mit dem Straßennetz im Jahr 2000



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

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, d.h. hier Gemeinde oder Stadtkreis, ist also zwingend zu schätzen. Wenn Informationen zum bebauten Gebiet je Zone vorliegen, kann mit dem von Rietveld und Bruinsma (1998) vorgeschlagenen Ansatz gearbeitet werden:

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

Dabei wird d als durchschnittliche Distanz zwischen zwei beliebigen Punkten in einer Zone mit der bebau-

ten Fläche O errechnet. Die bebauten Fläche der Zonen (Gemeinden und Stadtkreise) wurde der Arealstatistik des Bundesamts für Statistik (2002) entnommen. Um die intrazonale Reisezeit zu erhalten, wurde für den MIV eine Geschwindigkeit von 15 km/h und für den ÖV von 10 km/h angenommen (für entsprechende Schweizer Messungen siehe Hackney/ Marchal/Axhausen 2005; Marchal/ Hackney/Axhausen, im Druck).

Detaillierung der MIV-Netze

Die Herausforderung bei der Berechnung historischer Reisezeiten ist es, die früheren Netzzustände abzubilden. Zu entscheiden ist, mit welchem Detaillierungsgrad gearbeitet werden soll – oder anders formuliert: Soll nur die Entwicklung der Autobahnen berücksich-

tigt werden oder zugleich die der Hauptstraßen oder sogar aller Straßen? Die vergleichbare Frage stellt sich natürlich auch im Zusammenhang mit den ÖV-Netzen.

Als Ausgangsbasis wurde für das Schweizer MIV-Netz des Jahres 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 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 dieser Straßen umfassend und konsistent dokumentiert hat. Daher musste deren Entwicklung 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 auszudehnen (siehe oben), 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.

Der Schwerpunkt einer Schweizer Zone hat Anbindungen an das Straßennetz mit einer Geschwindigkeit von 15 km/h. Die Schwerpunkte der Zonen außerhalb der Schweiz sind mit einer Geschwindigkeit von 40 km/h angebunden, da diese Zonen größer sind und das Straßennetz in diesen Gebieten gröber abgebildet wird.

Die Koordinaten der Schwerpunkte der Zonen wurden vom Bundesamt für Raumentwicklung bereitgestellt. Die Länge der Anbindungen ergibt sich aus der Luftliniendistanz zwischen Schwerpunkt und den Knoten, an welchen die Anbindungen ans Straßennetz erfolgen.

In einem Netzmodell werden die Strecken mit ihrer Länge, freien Geschwindigkeit, Kapazität und mit Parametern der Capacity-Restraint-Funktion beschrieben, 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, 2000) die entsprechenden Streckenattribute festzulegen.

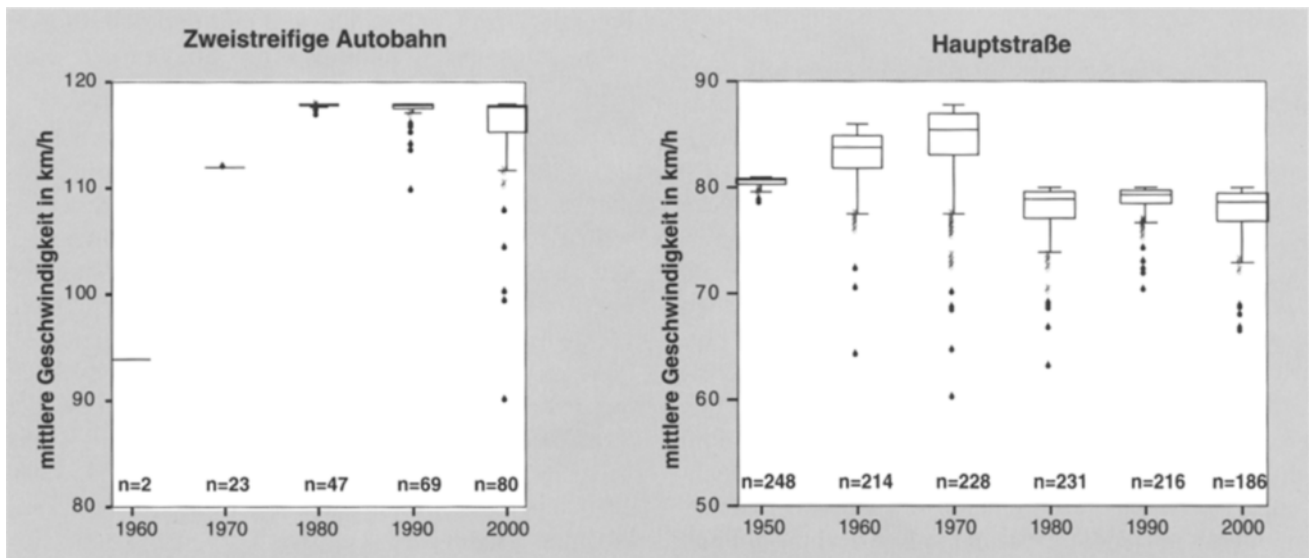
Es sind keine historischen Nachfragematrizen vorhanden, die zur Berechnung der Geschwindigkeiten mit Hilfe einer belastungsabhängigen Umlegung verwendet werden könnten. Daher ist es notwendig, begründete Annahmen über die mittlere Geschwindigkeit auf jedem Streckentyp zu machen. Das verwendete Netzmodell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

Die angenommenen Streckeneigenschaften gründen sich auf die ausführliche Arbeit von Erath/Fröhlich (2003), die solche Eigenschaften aufgrund von Daten und Berichten aus der Schweiz, Deutschland und den USA abgeleitet haben. 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 erstellen. Mit diesen sowie mit Zählwerten

Tabelle 1
Anzahl der Strecken im erweiterten Straßennetzmodell (Schweiz (CH) und 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

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



Man beachte die unterschiedlichen Skalen der beiden Abbildungen
Quelle: Axhausen / Fröhlich (2004)

von rund 350 Zählstellen konnten dann die Geschwindigkeitsverteilungen der wichtigsten Streckentypen je Zeitperiode errechnet werden. Abbildung 2 zeigt diese Verteilungen für die Streckentypen Zweistreifige Autobahn und Hauptstraße. Es ist interessant zu sehen, 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 die Reisezeit auf dem Bestweg zwischen den Zonen unter Berücksichtigung der geschätzten mittleren Geschwindigkeit je Streckentyp die beste Näherung dar. Dieser Ansatz musste für den Zeitraum 1950 bis 1990 verwendet werden und wurde aus Konsistenzgründen 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 / Dasen / Erne / Singer / Lohse / Schiller (2004) berechnet (siehe Tab. 4 für den Vergleich der Ergebnisse).

ÖV-Netzmodell

Ausgehend vom Schienennetz für das Jahr 2000 wurde die Entwicklung der rund 5 500 Strecken und 2 700 Knoten 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 und Bahnhöfe aufgeführt.

Die Anbindungen vom Zonenschwerpunkt zur nächsten Haltestelle/zum nächsten Bahnhof bilden die Zeit ab, die der Passagier für diese Wegetappe benötigt. In den letzten 50 Jahren wurden einige Schienenstrecken

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

Jahr	ÖV-Kurse pro Tag	Bediente Haltestellen und Bahnhöfe
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

Tabelle 3
Anbindungstypen im ÖV-Netz

Zonentyp	Länge der Anbindung	Distanzart	Geschwindigkeit
Schweizer Zonen mit eigenem Bahnhof		Luftliniendistanz	6 km/h
Schweizer Zonen ohne eigene Bushaltestelle	0–10 km	Straßendistanz	bis 1 km 6 km/h, dann linear ansteigend bis 20 km bei 10 km
Schweizer Zonen ohne eigene Bushaltestelle	> 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

bzw. Personenverkehre eingestellt und die zugehörigen Haltestellen/Bahnhöfe geschlossen. Auch diese Entwicklung musste bei den Anbindungen der verschiedenen Untersuchungszeitpunkte berücksichtigt werden. Die Anbindungen berücksichtigen den Zonentyp, die Entfernung und ob die Zone eine eigene Haltestelle oder Bahnhof hat (siehe Tab. 3). Die Geschwindigkeitsannahmen basieren auf Auswertungen der Fahrpläne der SBB (Bodenmann 2003) und dem Mikrozensus Verkehr 2000 (Bundesamt für Raumentwicklung/Bundesamt für Statistik 2001).

Gewichtung der Reisezeiten

Die Erreichbarkeitsberechnung erfolgt mit dem in Abschnitt 1 beschriebenen Ansatz. Als Aktivitätspunkte wurde die Bevölkerung verwendet. Der Parameter für die generalisierten Kosten wird mit 0,2 angenommen und über den gesamten Untersuchungszeitraum konstant gehalten. Dieser Wert wurde für die Jahre 1960 und 1970 von Schilling (1973) für die Schweiz geschätzt. Lenz (2005) zeigt zwar für ein analoges Modell und den Zeitraum 1978–1996, dass der Parameter variiert, kann aber keinen Trend nachweisen. Es ist realistischer anzunehmen, dass sich der Parameter über die Zeit hinweg durch die Änderungen in der Standortwahl und auch Verringerung der Transportkosten im Verhältnis zum Haushaltseinkommen verändert hat. Eine Schätzung des Parameters über die 50 Jahre würde detaillierte Daten über die Zielwahl erfordern; sie liegen jedoch nicht für den gesamten Untersuchungszeitraum vor.

3 Erreichbarkeiten

Die Investitionen in das Hochleistungsstraßennetz und das Bevölkerungswachstum ab 1950 haben einen bedeutenden Erreichbarkeitsanstieg bewirkt. Die Erreichbarkeitsänderungen der Gemeinden am oberen Ende der Verteilung (der Schweizer Gemeinden) sind relativ klein. Die Bevölkerungsverluste der Großstädte wurden hinsichtlich der Erreichbarkeit durch die höhere Geschwindigkeit auf dem Weg zum dichter besiedelten Umland ausgeglichen. Die Entwicklung der Kennzahlen für die Erreichbarkeit im MIV und ÖV sind in Tabelle 4 zusammengefasst. 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 dem größten Erreichbarkeitszuwachs (+ 4,5 % im Median). Im ÖV brachte die Einführung des Taktfahrplans in den 1980er Jahren den relativ größten Erreichbarkeitszuwachs von 2,1 %.

Im unterem Teil der Tabelle 4 sind die relativ größere MIV-Erreichbarkeit gegenüber der ÖV-Erreichbarkeit sowie der Vergleich zwischen der Gleichgewichtsumlegung des MIV-Modells (2000 GG) aus Vrtic et al. (2004) und dem MIV-Modell dargestellt. Man beachte, dass es hier praktisch keine Unterschiede gibt.

Die Berechnungen wurden auch für die Beschäftigten des 2. und 3. Sektors statt der Bevölkerung durchgeführt, die aber hoch miteinander korrelieren (Pearson-Korrelationskoeffizient bei den Beschäftigten im 2. Sektor: MIV 0.945–0.972, ÖV 0.907–0.932; im 3. Sektor: MIV 0.915–0.978, ÖV: 0.911–0.951).

Tabelle 4
Deskriptive Statistik der Erreichbarkeitswerte MIV und ÖV

	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2000 GG
MIV-Erreichbarkeit							
Mittelwert	8.272	8.488	8.859	8.957	9.034	9.120	9.223
Median	8.409	8.617	9.006	9.111	9.200	9.302	9.387
Std. Abw.	0.917	0,935	0,971	0.994	0.995	0.993	1.043
25 % Perzentil	7.867	8.038	8.426	8.498	8.576	8.659	8.733
74 % Perzentil	8.867	9.1020	9.513	9.653	9.710	9.798	9.932
ÖV-Erreichbarkeit							
Mittelwert	6.446	6.516	6.611	6.665	6.775	6.849	
Median	6.360	6.438	6.539	6.603	6.742	6.848	
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	
Verhältnis MIV- zu ÖV-Erreichbarkeit							MIV 2000GG/2000
Mittelwert	1.307	1.332	1.376	1.381	1.368	1.365	1.011
Median	1.277	1.299	1.335	1.334	1.324	1.324	1.007
Std. Abw.	0.191	0.209	0.232	0.237	0.226	0.222	0.019
25 % Perzentil	1.158	1.167	1.192	1.192	1.189	1.188	1.001
75 % Perzentil	1.428	1.462	1.532	1.532	1.506	1.499	1.017

In Abbildung 3 sind die Werte nach Rang der Gemeinde dargestellt. Hier zeigt sich deutlich, dass sich der Erreichbarkeitsvorsprung der Großstädte gegenüber dem Umland über die Jahrzehnte hinweg verringert hat.

Die räumlichen Verteilungen sind 1950 und 2000 im MIV und ÖV ähnlich (Abb. 4): Großen Zuwächsen in den Agglomerationsgebieten um die Großstädte und in den großen Touristengemeinden (z. B. St. Moritz, Zermatt) steht eine relativ schwache Entwicklung in den Großstädten selbst und den Randgebieten gegenüber. Die Korrelation zwischen den Jahrzehnten ist hoch, knapp 0.99, aber sie wird kleiner (min. ca. 0.93), wenn die Anzahl der dazwischen liegenden Jahrzehnte erhöht wird.

Die Abbildungen 5 und 6 zeigen die Erreichbarkeitswerte in einer 3D-Darstellung mit gleicher Skala für MIV und ÖV. 1950 stachen die Großstädte als Gipfel hervor, über die Zeit heben sich aber die Werte im Umland, insbesondere im MIV, deutlich an. Die Großstädte haben seit den 50er Jahren Bevölkerung verloren und die Umland- und Tourismusgemeinden teilweise massiv an Einwohnern zugelegt. Die Logarithmierung wurde unterlassen, um die Unterschiede der Erreichbarkeitswerte besser erkennen zu können, was aber zu einer Überzeichnung der Vorteile des MIV führt.

Das Verhältnis der MIV- zur ÖV-Erreichbarkeit für das Jahr 2000 zeigt für die ganze Schweiz den großen Attraktivitätsvorsprung des MIV (Abb. 7). 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, die Erreichbarkeit mit dem ÖV besser als im schweizerischen Durchschnitt, so z. B. im Engadin und in Teilen des Juras.

Der Vergleich der MIV-Erreichbarkeiten aus dem nationalen Verkehrsmodell mit Gleichgewichtsumlegung (Vrtic et al. 2004) und dem hier erstellten MIV-Modell 2000 ergibt einen Median von 1.007, d. h. die Erreichbarkeiten wurden leicht unterschätzt (Abb. 8). Die grössten Abweichungen zeigen sich in den Agglomerationsgebieten. Sie sind auf die im nationalen Modell nicht abgebildeten Fahrten innerhalb der Großstädte sowie auf einige Streckenumtypisierungen dort zurückzuführen. 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.

Abbildung 3
Verteilung der Erreichbarkeitswerte im MIV von 1950 bis 2000

Man beachte die unterschiedlichen Skalen für die unteren beiden Abbildungen

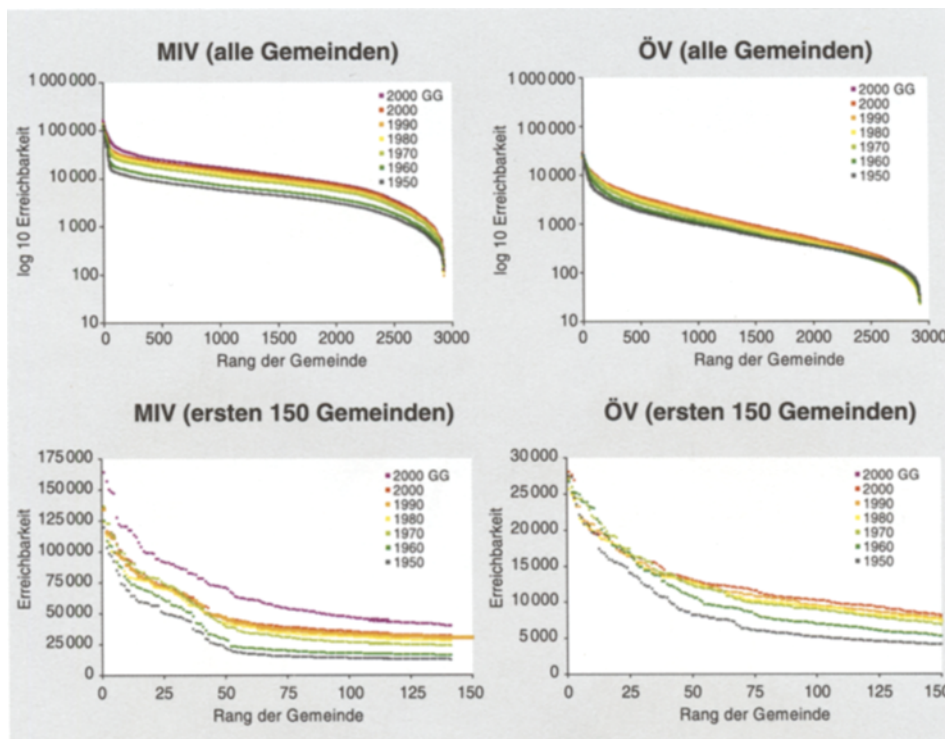


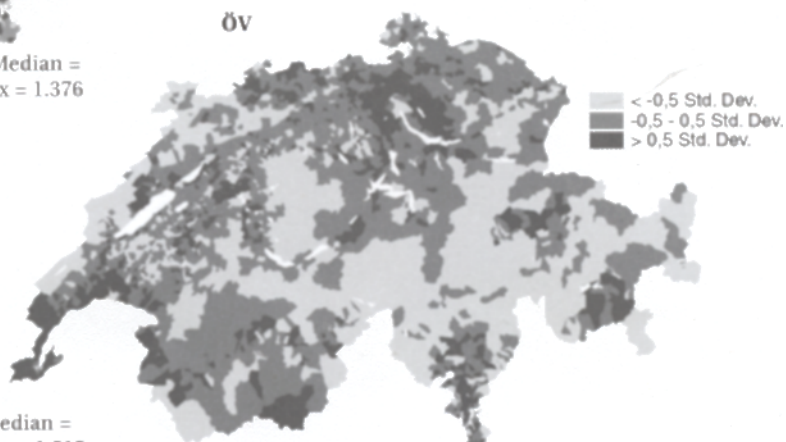
Abbildung 4
Verhältnis Erreichbarkeit im Jahr 2000 zu 1950 für MIV und ÖV

MIV



Verhältnis MIV: Min = 0.884; -0.5 Std. Abw. = 1.079; Median = 1.099; Mittelwert = 1.103; +0.5 Std. Abw. = 1.127; Max = 1.376

ÖV



Verhältnis ÖV: Min = 0.682; -0.5 Std. Abw. = 1.020; Median = 1.056; Mittelwert = 1.061; +0.5 Std. Abw. = 1.102; Max = 1.515

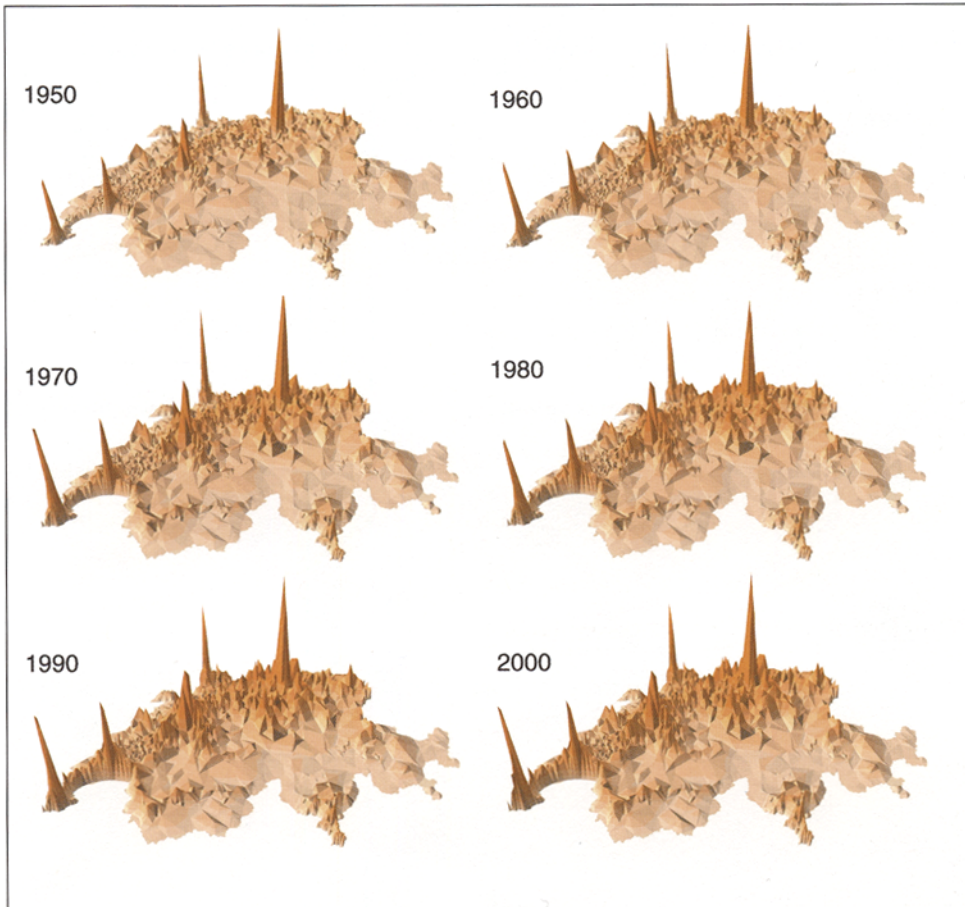


Abbildung 5
Erreichbarkeitsgebirge
MIV 1950–2000 (ohne
Logarithmierung)

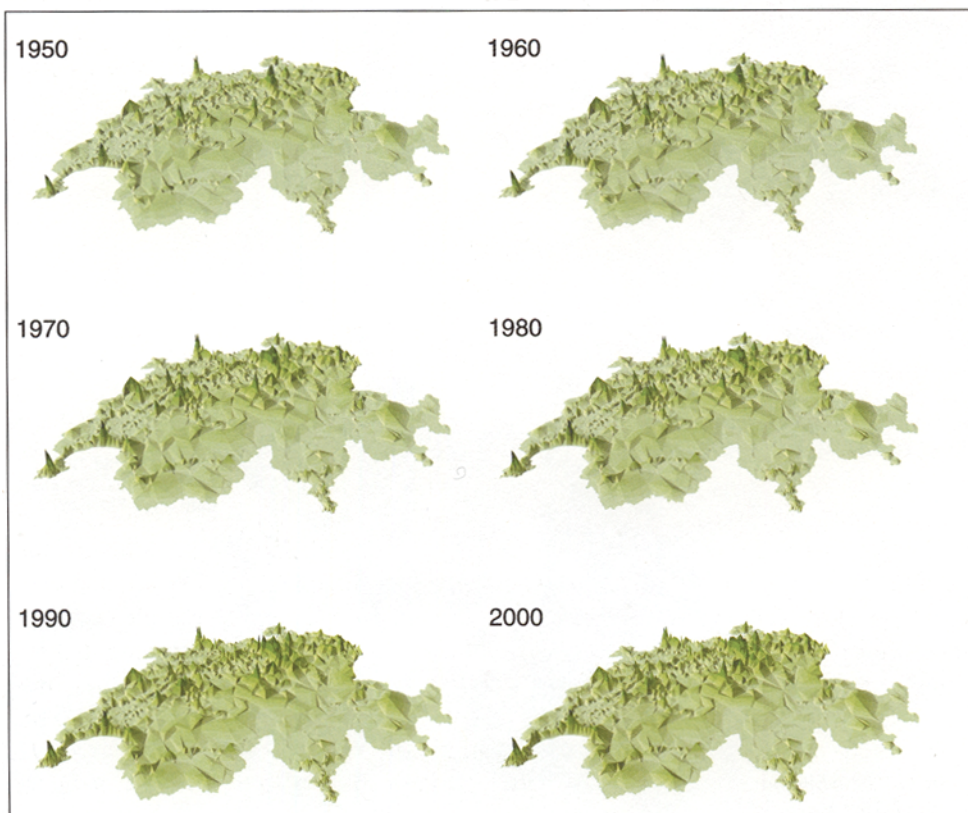
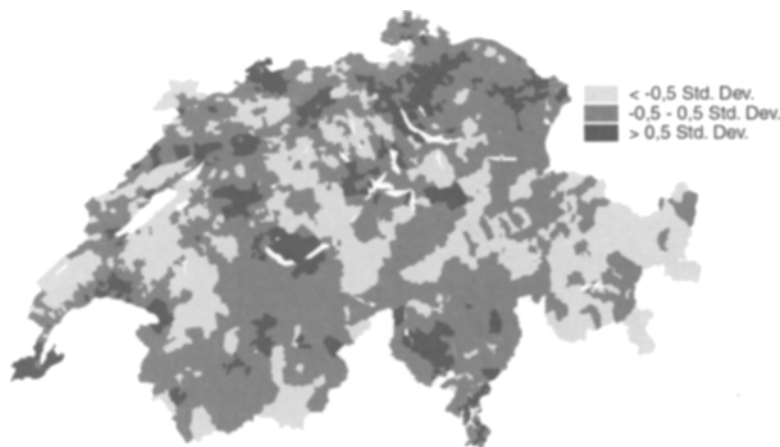


Abbildung 6
Erreichbarkeitsgebirge
ÖV 1950–2000 (ohne
Logarithmierung)

Abbildung 7
Verhältnis MIV- zur ÖV-Erreichbarkeit für 2000



Abbildung 8
Verhältnis der MIV-Erreichbarkeit des nationalen Verkehrsmodell 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

4 Geschwindigkeiten

Die regionale Verteilung der mittleren Geschwindigkeiten für 2000 zeigt ein anderes Bild als das der Erreichbarkeiten, da hier die Ränder der Agglomerationsräume die höchsten Werte haben (Abb. 9). 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 (Abb. 10) zeigt erwartungsgemäß niedrigere Werte

in den Großstädten und höhere an den Rändern der Agglomerationen. Auch die Bahnlinien entlang der Flusstäler, z.B. im Rhein- 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 Plâtau zwischen Neuenburger und Genfer See oder im Rheinwald (Abb. 11). Die Korrelation zwischen den Erreichbarkeitswerten und den Geschwindigkeiten des gleichen Untersuchungszeitpunkts 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.

Abbildung 9

Mittlere Geschwindigkeit MIV 2000 und Verhältnis der mittleren Geschwindigkeit MIV für 2000 und 1950



Mittlere Geschwindigkeit MIV 2000 Kennzahlen: Min = 15,50 km/h; -0.5 Std. Abw. = 42,8 km/h; Median = 49.60 km/h; Mittelwert = 47.897 km/h; +0.5 Std. Abw. = 53.0 km/h; Max = 72.1 km/h



Verhältnis MIV 2000 zu 1950 Kennzahlen: Min = 0.893; -0.5 Std. Abw. = 1.219; Median = 1.267; Mittelwert = 1.321; +0.5 Std. Abw. = 1.422; Max = 2.870

Abbildung 10

Mittlere Geschwindigkeit ÖV 2000 und Verhältnis der mittleren Geschwindigkeit ÖV für 2000 und 1950



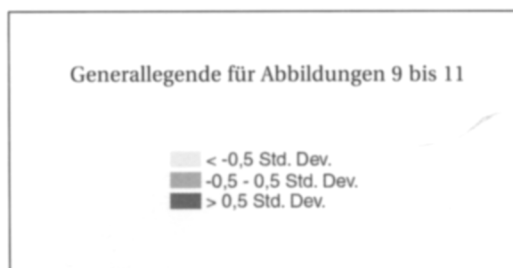
Mittlere Geschwindigkeit ÖV 2000 Kennzahlen: Min = 8,5 km/h; -0.5 Std. Abw. = 10.8 km/h; Median = 11.10 km/h; Mittelwert = 13.627 km/h; +0.5 Std. Abw. = 16.6 km/h; Max = 57.3 km/h



Verhältnis mittlere Geschwindigkeit 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 11

Verhältnis der mittleren Geschwindigkeit MIV und ÖV 2000



Kennzahlen: Min = 0.595; -0.5 Std. Abw. = 3.241; Median = 4.03; Mittelwert = 3.886; +0.5 Std. Abw. = 4.531; Max = 7.000

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die hier vorgestellten Ergebnisse haben sowohl inhaltliche wie auch methodische Aspekte, die für die weitere Arbeit wichtig sind. Auf kleinräumige Interpretationen soll hier im Folgenden aber verzichtet werden.

Methodisch kann man festhalten, dass es für die Berechnung der großräumigen Erreichbarkeitsveränderungen im MIV ausreicht, 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 der Ergebnisse bringt, wenn angemessen genaue Schätzungen der mittleren Geschwindigkeiten vorliegen. In diesem Fall sind gut 80 % des Arbeitsaufwands in die Erfassung der Hauptstraßen geflossen – ein Aufwand, der aber nur notwendig ist, falls die Erreichbarkeitsveränderungen im MIV kleinräumig untersucht werden sollen.

Im Fall der ÖV-Erreichbarkeit reicht die Modellierung der internationalen Züge 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. Hier muss das Äquivalent zum untergeordneten Netz miteingefasst werden.

Die mittleren Gemeindegeschwindigkeiten haben sich als eine nützliche Maßzahl erwiesen, um die Strukturen aufzeigen, die bei einer Betrachtung der Erreichbarkeiten übersehen würden, hier z. B. die regionalspezifischen Effekte der Abwesenheit von Autobahnen auf die relative Attraktivität des ÖV.

Inhaltlich wurde mit dieser Studie zum ersten Mal gezeigt, wie sich die großräumigen Erreichbarkeiten und Geschwindigkeitsverhältnisse über die gesamte Nachkriegszeit verändert haben. Es sind den Autoren keine Studien für andere vergleichbar große Regionen oder Länder bekannt. Es wird eindrücklich klar, wie stark die Erreichbarkeiten gewachsen sind, d. h. wie stark die Schweiz für ihre Bewohner geschrumpft ist. Es wird aber auch klar, dass die regionalpolitischen Bemühungen um die Peripherien keinen Erfolg gehabt haben. Gewinner sind die Umlandgemeinden der Großstädte, die Zwischenstadt im Schweizer Mittelland (Sieverts 1997; Baccini / Oswald 1998). Es zeigt sich aber auch, dass zumindest die Schweizer Großstädte ihre absolute Führungsposition halten konnten. Sie sind weiterhin die Orte maximaler Erreichbarkeit und damit die präferierten Standorte für hochwertige Dienstleistungen und Einzelhandel.

Es wird auch klar, dass der zeitgleiche Ausbau der Straßennetze und Schienenangebote verhindert hat, dass der ÖV zurückfällt; aber eine relative Verbesserung war auf breiter Front nicht möglich. Im Umfeld der Städte profitiert der ÖV von den lokal fallenden Geschwindigkeiten im MIV (siehe Abb. 2) und regionalen Ausbauten, aber nur dort. Im Schweizer Kontext stellt sich die Frage, ob man diese Doppelstrategie weiter fortführen möchte – eine Frage, die sich in allen Ländern Westeuropas angesichts der anderweitig belasteten staatlichen Kassen und des erwarteten Bevölkerungsrückgangs stellt.

Die planerische Praxis verzichtet in der Regel auf die Kartierung der Erreichbarkeiten, obwohl in der Regel alle notwendigen Daten eigentlich vorhanden sind. Dies scheint aus der Sicht dieser Ergebnisse unverständlich, da die Erreichbarkeiten als großräumiges Maß den Planern eine übersichtliche Zusammenfassung der geplanten Maßnahmen zur Verfügung stellt, insbesondere wenn man mit intermodal berechneten generalisierten Kosten arbeitet. Die räumlichen Disparitäten werden sofort sichtbar, aber auch erklärbar. Es zeigt als Indikator des Bodenwerts aber auch auf, wo Disparitäten bestehen, die man nutzen, sichern oder abbauen müsste.

Die Arbeit, wie sie sich jetzt darstellt, ist aber erst ein Zwischenschritt. Die Zeitreihen zur Verkehrsinfrastruktur sind Grundlage für die Bearbeitung der weitergehenden Fragen zu deren Auswirkungen auf Raum, Wirtschaft und Bevölkerung. Insbesondere von Interesse ist, wann, wo und wie stark die Zusammenhänge zwischen Verkehrsinfrastruktur sowie deren Veränderungen über die Zeit und den ökonomischen und demographischen Variablen der Raumstruktur sind.

Dank

Die Autoren bedanken sich bei den Projektpartnern Peter Keller (jetzt Netzwerk Stadt und Landschaft, ETH Zürich), Hans-Ulrich Schiedt und Thomas Frey (ViaStoria, Bern) sowie Laurent Tissot und Serge Reubi (Institut d' Histoire, Université de Neuchâtel), für die fruchtbare Zusammenarbeit. Das Projekt wurde im Rahmen von COST 340 „Towards a European Intermodal Transport Network: Lesson from history“ abgewickelt und vom Bundesamt für Bildung und Wissenschaft und Schweizerischen Nationalfond finanziert. Zusätzliche Mittel hat das Bundesamt für Verkehr zur Verfügung gestellt. Dank auch den Verbesserungsvorschlägen der anonymen Gutachter.

Anmerkungen

(1)

VISUM ist ein Produkt der PTV AG, Karlsruhe (siehe www.ptv.de)

(2)

Der ÖV-Nutzer kommt wegen seiner Bindung an den Fahrplankontakt entweder zu früh oder zu spät ans Ziel. Eine Halbierung des Fahrplankontakts reduziert damit das Zeitfenster dieser Verfrühungen oder Verspätungen um die Hälfte. Hier liegt der eigentliche Gewinn der Taktverdichtung, da die Wartezeit beim Erseinstieg vom informierten Nutzer frei gewählt werden kann. Die historische Abschätzung dieser Gewinne ist aber schwierig, da sich die früheren Fahrpläne an die Rhythmen der Nutzer angepasst hatten (Schichtzeiten, Geschäftszeiten, Ladenöffnungszeiten usw.). Es ist also nicht immer klar, ob ein Taktfahrplan hier Verbesserungen oder Verschlechterungen zur Folge hatte.

Literatur

- Aschauer, D.: Is public expenditure productive? *Journ. of Monetary Economics* 23 (1989) 2, S. 177–200
- Axhausen, K.W.; Fröhlich, Ph.: Public investment and accessibility change. In: *Bauen, Bewirtschaften, Erneuern – Gedanken zur Gestaltung der Infrastruktur*. Hrsg.: H. Held; P. Marti. – Zürich 2004, S. 207–224
- Baccini, P.; Oswald, F. (Hrsg.): *Netzstadt: Transdisziplinäre Methoden zum Umbau urbaner Systeme*. – Zürich 1998
- Ben-Akiva, M.E.; Lerman, S. R.: *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*. – Cambridge 1985
- Bodenmann, B.: *Zusammenhänge zwischen Raumnutzung und Erreichbarkeit: Das Beispiel der Region St. Gallen zwischen 1950 und 2000*. – Zürich 2003 (unveröff. Diplomarbeit, IVT/ ETH Zürich)
- Bröcker, J.; Kanse, A.; Schürmann, C.; Wegener, M.: *Methodology for the assessment of spatial economic impacts of transport projects and policies*. – Kiel/Dortmund 2002. = IASON Deliverable 2, Institute für Raumplanung der Universitäten Kiel und Dortmund 2
- Bundesamt für Raumentwicklung – ARE; Bundesamt für Statistik – BFS (Hrsg.): *Mobilität in der Schweiz. Ergebnisse des Mikrozensus 2000 zum Verkehrsverhalten*. – Bern und Neuenburg 2001
- Bundesamt für Strassen – ASTRA (Hrsg.): *Info 2001 – Schweizerische Nationalstrassen*. – Bern 2001
- Bundesamt für Statistik – BFS: *Arealstatistik Schweiz: Die Bodennutzung in den Kantonen*. – Neuchâtel 2002
- Chalasan, V.S., Engebretsen, Ø.; Denstadli, J.M.; Axhausen, K.W.: Precision of geocoded locations and network distance estimates. *Journ. of Transportation and Statistics* 8 (2005) (im Druck)
- Erath, A.; Fröhlich, Ph.: *Geschwindigkeiten im PW-Verkehr und Leistungsfähigkeiten von Strassen über den Zeitraum von 1950–2000*. – Zürich 2004. = *Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung (IVT/ETH)*, Band 183
- Fernald, J.G.: Roads to prosperity? Assessing the link between public capital and productivity. *American Economic Review* 89 (1998) 3, S. 619–638
- Fröhlich, Ph.; Frey, T.; Reubi, S.; Schiedt, H.-U.: *Entwicklung des Transitverkehrs-Systems und deren Auswirkung auf die Raumnutzung in der Schweiz (COST 340): Verkehrsnetz-Datenbank*. – Zürich 2004. = *Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung (IVT/ ETH)*, Band 208
- Geurs, K. T.; Ritsema van Eck, J. R.: *Accessibility measures: review and applications*. – Bilthoven 2001. = RIVM report (National Institute of Public Health and the Environment), No. 408505006
- Hackney, J.; Marchal, F.; Axhausen, K.W.: *Monitoring a road system's level of service: The Canton Zurich floating car study 2003*. Vortrag beim 84th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., Januar 2005
- Holtz-Eakin, D. (1994) Public sector capital and the productivity puzzle. *Review of Economics and Statistics* 76 (1994) 1, S. 12–21
- Kesselring, H.; Halbherr, P.; Maggi, R.: *Straßennetzausbau und raumwirtschaftliche Entwicklung*. – Bern 1982
- Kwan, M.: Space-time and integral measures of individual accessibility: A comparative analysis using a point-based framework. *Geographical Analysis* 30 (1998) 3, S. 191–216
- Lenz, M.: *Auswirkungen des Ausbaus der verkehrlichen Infrastruktur auf das regionale Fernpendleraufkommen*. – Stuttgart 2005. = *Schriften. Institut für Straßen- und Verkehrswesen, Univ. Stuttgart*, Band 39
- Marchal, F.; Hackney, J.; Axhausen, K.W.: *Efficient map-matching of large GPS data sets – Tests on a speed monitoring experiment in Zurich*. *Transportation Research Record* (2005, im Druck)
- Munnell, A.H.: How does public infrastructure affect regional economic performance? *New England Econ. Review* (1990) 5, S. 11–33
- Nadiri, M.I.: *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. 1998
- Ortuzar, J. de D.; Willumsen, L.G.: *Modelling Transport*. – Chichester 2001
- Raney, B.; Cetin, N.; Völlmy, A.; Vritc, M.; Axhausen, K.W.; Nagel, K.: An agent-based microsimulation model of Swiss travel: First results. *Networks and Spatial Economics* 3 (2003) 1, S. 23–42
- Rietveld, P.; Bruinsma, F.: *Is Transport Infrastructure Effective?* – Berlin 1998

Schilling, H.R.: Kalibrierung von Widerstandsfunktionen. Studienunterlagen Lehrstuhl für Verkehrsingenieurwesen, ETH Zürich. – Zürich 1973

Schnabel, W.; Lohse, D.: Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung. – Berlin 1997

Shirley, C.; Winston, C.: Firm inventory behaviour and the returns from highway infrastructure investments. *Journ. of Urban Economics* 55 (2004) 2, S. 398–415

Sieverts, T.: Zwischenstadt. – Braunschweig 1997

Tschopp, M.; Keller, P.; Axhausen, K.W.: Raumnutzung in der Schweiz: Eine historische Raumstruktur-Datenbank. – Zürich 2003. = Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung (IVT/ETH), Band 165

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

Widmer, J.-P.; Meister, K.: Ausgewählte Schweizer Zeitreihen zur Verkehrsentwicklung. Materialien zur Vorlesung „Verkehrsplanung“, IVT/ETH Zürich. – Zürich 2005 (www.ivt.ethz.ch/education/verkehrsplanung/Materialien002.2005.pdf)

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

Philipp Fröhlich
Martin Tschopp
Prof. Kay W. Axhausen
Institut für Verkehrsplanung
und Transportsysteme
Eidgenössische Technische Hochschule
CH – 8093 Zürich
E-Mail: froehlich@ivt.baug.ethz.ch
tschopp@ivt.baug.ethz.ch
axhausen@ivt.baug.ethz.ch