



Bericht an das Amt für Verkehr des Kantons Zürich

Qualität des Verkehrsangebots: Öffentlicher Verkehr

**JK Hackney
KW Axhausen**

Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung

Qualität des Verkehrsangebots: ÖV

J.K. Hackney
IVT
ETH Zürich
CH – 8093 Zürich

K.W. Axhausen
IVT
ETH Zürich
CH – 8093 Zürich

Telefon: +41-1-633 3325
Telefax: +41-1-633 1057
hackney@ivt.baug.ethz.ch

Telefon: +41-1-633 3943
Telefax: +41-1-633 1057
axhausen@ivt.baug.ethz.ch

Mai 2005

Kurzfassung

Die Auswertungen der mittleren Geschwindigkeit des öffentlichen Verkehrsangebots im Kanton Zürich basieren auf einer systematischen Auswertung der Fahrplandaten samt Zu- und Abgangswege. Als Basis dient eine repräsentative Stichprobe von 2331 geokodierten Wegen aus dem Mikrozensus Verkehr 2000, die mit öffentlichen Verkehrsmitteln zurückgelegt wurden. Die gewählten Routen sind nicht bekannt und eine Angebotsmenge musste für die Auswertung künstlich erzeugt werden. Pro Weg (Quelle-Ziel) Beziehung wurden bis zu neun mögliche Verbindungen mit den entsprechenden Zugangs- und Abgangswegen für die drei nächstgelegenen Haltestellen an Quelle und Ziel konstruiert. Die Auswertungen basieren jeweils auf den zeitkürzesten Verbindungen und den Verbindungen mit der geringsten Anzahl Umsteigevorgänge. Die Berechnung der befahrenen Distanz erfolgte auf der Basis der Haltestellenabstände wo vorhanden, sonst wurde die Luftliniendistanz zwischen Haltestellen benützt. Die berechneten Geschwindigkeiten liegen im erwarteten Bereich zwischen 14 und 20 km/h (Reise- und Fahrgeschwindigkeit). Signifikante Unterschiede sind zwischen Wegen mit und ohne Benutzung der Bahn, respektive zwischen Gemeindetypen je nach Fahrtrichtung zu beobachten. Andere Faktoren beeinflussen die Geschwindigkeiten nicht stark.

Schlagworte

Öffentlicher Verkehr, Speeds, Geschwindigkeit, Level of Service, Kanton Zürich, Hafas

Zitierungsvorschlag

Hackney, J.K. und K.W. Axhausen (2004) Qualität des Verkehrsangebots: ÖV, *Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung*, **257**, IVT, ETH Zürich, Zürich.

Working Paper

Transport system level of service: Public transport

J.K. Hackney
IVT
ETH Zürich
CH – 8093 Zürich

K.W. Axhausen
IVT
ETH Zürich
CH – 8093 Zürich

Telephone: +41-1-633 3325
Telefax: +41-1-633 1057
hackney@ivt.baug.ethz.ch

Telephone: +41-1-633 3943
Telefax: +41-1-633 1057
axhausen@ivt.baug.ethz.ch

May 2005

Abstract

The analysis of the average speed of the public transportation system in Kanton Zurich is based on a systematic search of the timetables including pedestrian access to and from mass transit. The search was conducted with the professional version of the Hafas program provided by VBZ that reads the ZVV timetables. The OD matrix is a representative sample of 2331 geocoded trips on public transport from the Swiss Travel Microcensus 2000. The chosen routes are not known and an alternative choice set had to be constructed artificially. Up to 9 possible routes with corresponding access and egress trips to the nearest transit stops were constructed for each OD relation. The analysis of speeds is based on the time-shortest route and route with fewest changes. The length of the route was not available and was estimated by summing the distance between stops. Where actual distance was not known, the calculation used straight line distance between stops. Actual speeds may be higher for these routes depending on the road curvature. The calculated speeds and their standard deviations lie in the expected range. There is no statistically significant speed difference with time period. Trains have higher speed than non-train transit. Speed depends on the density and type of community served, as well as direction. Other factors do not strongly influence speed.

Keywords

Public transportation, speed, Canton Zurich, Level of Service, Hafas, ZVV

Preferred citation style

Hackney, J.K. and K.W. Axhausen (2004) Qualität des Verkehrsangebots: ÖV, *Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung*, **257**, IVT, ETH Zürich, Zürich.

1 Auftrag und Ansatz

Das Amt für Verkehr des Kantons Zürich hat die Aufgabe erhalten, die Qualität des Verkehrsangebots im Kanton laufend zu überwachen. Als Teil dieser Arbeiten wurde in Ergänzung zur Messung der Geschwindigkeiten im Strassenverkehr (Hackney, Oblozinska und Axhausen, 2004) eine Schätzung der Geschwindigkeit des ÖV Systems im Kanton Zürich vom Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT) durchgeführt.

Dieses Vorgehen basiert nicht auf neuen Messungen, sondern auf einer Auswertung des ZVV-Fahrplans für eine repräsentative Stichprobe von 2331 geokodierten ÖV-Wegen im Kanton Zürich, die als Teil des Mikrozensus Verkehr 2000 (MZ00) (Bundesamt für Raumentwicklung und Bundesamt für Statistik, 2001) berichtet wurden. Bis zu neun Verbindungen pro Weg, d.h. Quelle-Ziel-Paar, wurden für die statistische Auswertung der ÖV-Geschwindigkeiten aus dem Fahrplan ermittelt. Der ZVV Fahrplan wurde mittels der Professional-Version des HAFAS-Programmsystems nach gültigen Verbindungen durchsucht. Das HAFAS-ZVV Fahrplantooll kann Verbindungen zu Schweizweit 16'688 Haltestellen berechnen und es ist somit gut geeignet für die Fahrplanauskunft in allen ländlichen Regionen und im ZVV-Verbundgebiet. Der vom IVT ergänzte MZ00 verfügt für die meisten Wege unter anderem die Ankunftszeit, Wochentag des Wegs, den geokodierten Start- und Endpunkt und die Wegenummer als Verknüpfung zu den MZ00 Rohdaten. Es wurden realistische Zu- und Abgangszeiten zu und von der Haltestelle hinzugefügt, deren Luftliniendistanz auf einer Netzdistanzkorrektur von 1.5 basieren.

Eine Fahrplansuche musste unternommen werden, da im MZ00 Informationen über die gewählte ÖV Verbindung fehlen: Befragte runden Abfahrts- und Ankunftszeiten, es fehlen Angaben zur verwendeten Linie, unter Umständen fehlen die Umsteigehaltestellen etc. Es mussten deshalb für diese Analyse plausible Verbindungen im Fahrplan gefunden werden. Ein Entscheidungsmodell, das die wahrscheinlichste unter den existierenden Verbinden identifizieren könnte, wird erst Anfang nächsten Jahres vorliegen (Siehe die Arbeiten zur Erstellung einer neuen ÖV-Nachfragematrix für den Kanton). Aus dem grösseren Satz der Verbindungen für jeden Weg (Quelle-Ziel Beziehung) wurden für die weiteren Berechnungen jeweils zwei sinnvolle ausgewählt: die zeit kürzeste Verbindung als auch die mit der geringsten Zahl Umsteigevorgänge, die manchmal natürlich identisch sind.

Es wird im Weiteren auf eine Gewichtung verzichtet, da die für die Mikrozensus – Wege vorhandene Personengewichtung sich auf die Region und nicht den Kanton bezieht und deshalb keine Aussagekraft auf kantonaler Ebene hat.

Die Fahr- sowie Reisegeschwindigkeiten der direktesten Verbindung und der zeitkürzesten Verbindung unterscheiden sich nicht signifikant. Es gibt auch keine signifikanten Unterschiede der Geschwindigkeiten in den verschiedenen Verkehrszeiten. Bahnverbindungen sind schneller als nicht-Bahnverbindungen. Eine weitere Unterteilung der Daten nach Verkehrsmittel und Verkehrszeit ergibt keine neuen Erkenntnisse. Die Geschwindigkeiten der Wege unterscheiden sich stark nach Gemeindetyp am Quell- oder Zielort und Richtung.

2 Auswahl der Quell-Zielbeziehungen aus der MZ00

Im Mikrozensus 2000 wird ein Weg als die Bewegung zwischen Aktivitäten definiert. Von den 11 785 Wegen, die im MZ00 mit dem öffentlichen Verkehr zurückgelegt wurden, wurden für diese Studie alle verwendet, die vollständig geokodiert werden konnten und die im Kanton Zürich starteten und endeten, d.h. 2413 ÖV Wege. Exaktes Geokodieren war nur bei vollständiger Angabe der Quell- bzw. Zieladresse möglich. Zudem können die Verbindungen für einen Weg nur dann im Fahrplan gesucht werden, wenn die Ankunftszeit berichtet wurde. Für die Auswertung erfüllen 2331 Wege diese Voraussetzungen, d.h. 96.6% aller berichteten Wege.

Die Landeskoordinaten, die im Rahmen der Geokodierung von Jermann (2003) hinzugefügt wurden, sind nur Näherungen an die wahren Werte, wenn im Mikrozensus genaue Angaben zur Anschrift fehlten. Wir verzichten auf eine Korrektur der berechneten Zu- und Abgangszeiten, da wir annehmen, dass sich die Fehler im Mittel aufheben.

3 Auswahl der drei nächstgelegenen Haltestellen

Die Bestimmung der nächstgelegenen Haltestellen vom Ausgangspunkt eines Weges aus erfolgte mit dem Sondermodul *Nearest Neighbor* in ARCVIEW. Die nächstgelegenen Bahn und/oder Bus/Tram Haltestellen werden anhand der Luftlinien-Distanz bestimmt. Die Annahme ist, dass die drei kürzesten Luftliniendistanzen auch den drei kürzesten Laufdistanzen entsprechen. Siehe Jermann (2004) für die generelle Korrektheit dieser Annahme. Nach der

Auswahl der Haltestellen wurden die Distanzen mit 1.5 multipliziert, um die realistische Laufdistanzen zu erhalten. Es wurde eine einheitliche Gehgeschwindigkeit von 5 Kilometer pro Stunde (12 Minuten/km) angenommen. Um unwahrscheinlich lange Zu- und Abgänge zu verhindern und um den Rechenaufwand zu reduzieren, wurde in einem ersten Schritt um jede Quelle und Ziel ein Buffer von zwei Kilometer Radius gelegt, jenseits dessen nicht mehr gesucht wurde. Aus diesem Grund kann sich die Anzahl der nächstgelegenen ÖV-Haltestellen von maximal drei auf eine reduzieren. Wenn jede Quelle und jedes Ziel 3 Haltestellen zur Verfügung hätten, würden $2331 \text{ mal } 9 = 20,979$ Verbindungen als Stichprobe vorliegen. Tatsächlich mussten für diese Wege – Stichprobe 16,416 Verbindungen mit ZVV-Hafas ermittelt werden.

4 Verbindungssuche im Fahrplantoool

Das Fahrplantoool berechnet die Ankunftszeit am Ziel. Zwischen dem eigentlichem Ziel des Weges und der ÖV-Zielhaltestelle liegt die jeweilige Abgangszeit. Die Ankunftszeit an der ÖV-Zielhaltestelle wird als Ankunftszeit am Ziel minus Abgangszeit berechnet. In das Fahrplantoool wird eine Tabelle mit allen benötigten Informationen über Quelle und Ziel bzw. gewünschte Ankunftszeit eingelesen. Für jede Relation wird nur eine Verbindung gesucht. Bei einer Suche nach einer einzigen Verbindung wird im ZVV-Hafas - Programm automatisch die jeweils zeit kürzeste Verbindung ermittelt. Die beiden Output-Tabellen des Fahrplantoools werden anschliessend in einem Java-Programm zusammengefügt und den ursprünglichen Wegen samt Zu- und Abgangszeiten zugeordnet. Die resultierende Tabelle enthält für jeden Weg bis zu neun Verbindungen, d.h. von jeder der drei Haltestellen an der Quelle zu jeder der drei Haltestellen am Ziel. Die oben erklärten Restriktionen können diese Zahl entsprechend reduzieren.

5 Aufbereitung der Fahrplandaten für die Analyse

Die Verbindungen werden in der Ausgabedatei durch die entsprechende Abfolge von Haltestellen beschrieben. Ein weiteres Java-Programm spielt die Haltestellenpositionen zu, womit die Fahrdistanz als die Summe der Luftliniendistanzen zwischen den Haltestellen berechnet werden kann. In diesem Javaprogramm wird auch das Hauptverkehrsmittel der Verbindung (Bahn oder nicht-Bahn) mit Hilfe der Haltestellennummer ermittelt. Der Fahrzeugtyp wird im Batchmodus von Hafas nicht ausgegeben und wird wie folgt eruiert: Die Haltestellen mit den

Kennnummern „85xxxxx“ sind Bahnhöfe. Jede Teilverbindung mit einer „85xxxxx“-Haltestelle als Quelle und Ziel wurde als „Bahn“ gekennzeichnet, andere Teilverbindungen als „nicht-Bahn“. Die Gesamtdistanz wird für jeden Typ über die gesamte Verbindung summiert und der Typ mit dem grössten Anteil wird als das Hauptverkehrsmittel für die Verbindung festgelegt.

Schliesslich wird aus diesen Dateien eine Analysedatei erstellt, die unter anderem die folgenden Angaben enthält: Interviewnummer, Wegnummer, Verbindungsnummer, Datum, Ankunftszeit, Fahrdistanz für die Verbindung, Fahrzeit für die Verbindung, Zu- und Abgangszeit, Start- und Zielhaltestellennamen, Hauptverkehrsmittel, Anzahl Umsteigevorgänge, Postleitzahl, Gemeindenummer und der Gemeindetyp (ARE) der Quelle und des Ziels.

6 Berechnung der Fahrdistanz und -zeit

Nicht nur die Zu- bzw. Abgangsdistanzen, sondern auch die Distanz, die ein Linienfahrzeug zurücklegt, muss die Kurvigkeit des wahren Weges berücksichtigen. Dabei sind auch Umsteigefusswege zwischen den Haltestellen zu berücksichtigen. Um die Kurvigkeit der Linienführung bei der Distanzberechnung annähernd zu berücksichtigen, wurde die Netzwerkdistanz als die Summe der wahren Strassendistanzen (Abstände) zwischen den Haltestellen entlang der Route ermittelt, soweit diese vorhanden waren. Falls Angaben über die Strassendistanzen fehlten (22% der Abschnitte zwischen zweier Haltestellen), wurden die Haltestellenabstände als die euklidische (Luftlinien-) Distanz der Landeskoordinaten der Haltestellen geschätzt. Der Luftlinienabstand zwischen den Haltestellen im Kanton beträgt im Durchschnitt etwa 800m. Damit ist die Annäherung der Distanz einer Strecke mit mittlerer Kurvigkeit gut möglich; die Länge von sehr kurvigen Strecken wird jedoch von mit der Luftliniendistanz stark unterschätzt. Dieses Vorgehen ergibt realistische Distanzen, die jedoch an der Untergrenze der tatsächlichen Wegelängen liegen.

6.1 Definition der Grössen

Die Gesamt- oder **Reisedistanz** für eine Verbindung ist die **Fahrdistanz** vom Einstieg an der ersten Haltestelle bis zum Ausstieg an der letzten Haltestelle, plus die Zu- und Abgangsdistanzen:

$$\text{Reisedistanz} = \text{Zugangsdistanz} + \text{Fahrdistanz} + \text{Abgangsdistanz}$$

Die **Fahrzeit** ist analog definiert: die Zeitdauer vom Einstieg in das erste ÖV-Fahrzeug bis zum letzten Ausstieg. Die Gesamt- oder **Reisedauer** einer Verbindung ist die Fahrzeit plus die Zu- und Abgangszeiten:

$$\text{Reisedauer} = \text{Zugangszeit} + \text{Fahrzeit} + \text{Abgangszeit}$$

Die Umsteigezeit zwischen ÖV Fahrzeugen wird aus HAFAS entnommen. HAFAS nimmt zur Bestimmung von Umsteigemöglichkeiten eine konservative Fussgeschwindigkeit von 20 Minuten/ km¹ an.

Es wird angenommen, dass die Person immer genau rechtzeitig losgeht, so dass die Wartezeit am Anfang des Wegs null ist. Studentische Messungen und Befragungen in Zürich und Umland im Jahr 2003 haben gezeigt, dass die Einstiegswartezeit vom Fahrplankontakt praktisch unabhängig ist (Wertebereich der untersuchten Takte 5-30 min).

7 Berechnung von Geschwindigkeit, Varianz und Messfehler

Drei Geschwindigkeitsschätzungen werden im Weiteren vorgestellt.

1. Für die zu Fuss - Etappen am Anfang (Zugang) und am Schluss (Abgang) der Verbindungen wird eine Geschwindigkeit von 5 km/h (12 Minuten/Kilometer) angenommen. Wie oben erwähnt, ist keine weitere Korrektur der Entfernungen notwendig, denn diese wurden schon mit dem Umwegsfaktor 1.5 multipliziert.
2. Die Fahrgeschwindigkeit nach dem Einstieg und bis zum Ausstieg in den ÖV, samt Umsteigen, ist gleich der Fahrdistanz dividiert durch die Fahrzeit. Diese Geschwindigkeiten (bzw. Distanzen) werden ohne weitere Kurvigkeitskorrekturen präsentiert.
3. Die Reisegeschwindigkeit ist gleich der Reisedistanz dividiert durch die Reisedauer und berücksichtigt den Zugang und Abgang, sowie die Fahrt.

Die zusammenfassenden Werte, die hier präsentiert werden, basieren auf

1. den 2331 zeitkürzesten Verbindungen (zeitkürzeste Verbindungen mit der kleinsten Anzahl Umsteigevorgänge, falls eine andere mit gleicher Dauer vorhanden ist), und
2. den 2331 direktesten Verbindungen mit der jeweils kleinsten Anzahl Umsteigevorgänge (jeweils die zeitkürzeste Verbindung, falls zwei Verbindungen die gleiche Anzahl Umsteigevorgänge haben).

Die Mittlung der Geschwindigkeiten wird analog zu den mIV-Geschwindigkeiten durchgeführt (Hackney, Oblozinska und Axhausen 2004): die Gesamtdistanz aller Verbindungen wird durch die Gesamtdauer dividiert. Die Standardabweichung der Schätzer ist die mittlere Standardabweichung, d.h. die Standardabweichung der Beobachtungen dividiert durch die Wurzel der Anzahl Beobachtungen. Die Varianzen werden proportional zum Quadrat zusammenaddiert. Die Messfehler sind hier unbekannt und werden hier nicht berücksichtigt.

8 Resultate

Die Geschwindigkeiten und Varianzen wurden in folgender Gliederung berechnet:

- Mittelwerte ÖV allgemein
- Mittelwerte nach Verkehrsmittel
- Mittelwerte ÖV nach Verkehrszeiten
- Mittelwerte ÖV nach Verkehrszeiten und -Mitteln
- Mittelwerte ÖV nach City, Agglomeration und ländlichen Gebieten

8.1 Durchschnittsgeschwindigkeit ÖV: Allgemein

Tabelle 1 fasst die Zeitkomponenten der ÖV – Wege zusammen. Der zeitkürzeste sowie direkteste Weg dauert im Schnitt 14.4 Minuten bzw. 15.2 Minuten, davon 8.1 bzw. 8.7 Min. in Fahrt exklusive Zu- und Abgang. Diese Werte sind statistisch unterschiedlich (t-Statistik=-3.0 bzw. -2.6). Die Zugangszeiten und Abgangszeiten sind zwischen den Stichproben fast iden-

¹ Auskunft von Herrn Dähler (VBZ) vom November 2003.

tisch. Es werden ähnliche Haltestellen für die zeitkürzesten sowie für die direktesten Verbindungen gewählt.

Der Zeitanteil der zu Fuss – Etappen macht bei den Verbindungen 43-44% aus. Die Abgangszeiten sind statistisch signifikant länger als die Zugangszeiten ($T=2.5$), was bedeutet, dass die Haltestellen näher an den Quellen liegen als an den Zielen. Dieser Befund ist unerwartet, denn die Fahrtenmatrix ist mehr oder weniger symmetrisch (jeder Quellort dient auch fast gleich häufig als Zielort). Das Resultat könnte mit dem Optimierungsalgorithmus der Verbindungssuche in HAFAS zu tun haben, aber diese Hypothese konnte nicht geprüft werden.

Tabelle 1 ÖV-Wege in der MZ- Stichprobe Kanton Zürich:
Zeitkomponenten der Wege (Minuten)

	Reisezeit	Fahrzeit	Zugangszeit	Abgangszeit
Zeitkürzester Weg				
Mittel	14.4	8.1	3.0	3.3
Standardabweichung	0.2	0.1	0.1	0.1
Direkter Weg (Minimale Anzahl von Umsteigevorgängen)				
Mittel	15.2	8.7	3.1	3.4
Standardabweichung	0.2	0.2	0.1	0.1

Die Distanzkomponenten in Tabelle 2 zeigen eine Durchschnittsdistanz im Kanton von 3.2-3.5 Kilometern auf. Zu- und Abgangsdistanzen betragen zwischen 530 und 550 Meter. Die zeitkürzesten Wege sind in Vergleich zu den direktesten Wegen auch die distanzkürzesten Wege (t -Statistik=-3.4 für die Gesamt- bzw. -3.3 für die Fahrdistanz in ÖV). Der Vergleich der Zu- und Abgangsetappen zwischen zeitkürzester und direkter Verbindung enthält keine neuen Informationen und entspricht der Annahme einer konstanten Laufgeschwindigkeit von 5 km/h.

Die Zu- und Abgangsetappen machen wegen der höheren Geschwindigkeit der ÖV-Fahrzeuge nur 15-16% der gesamten Reisedistanz aus (im Gegensatz zu 43-44% der Gesamtzeit).

Tabelle 2 ÖV-Wege in der MZ- Stichprobe Kanton Zürich: Distanzen (Meter)

	Reisedistanz	Fahrdistanz	Zugangsdistanz	Abgangsdistanz
Zeitkürzester Weg				
Mittel	3209.5	2680.6	252.7	276.2
Standardabweichung	60.3	59.6	6.4	6.7
Direkter Weg (Minimale Anzahl von Umsteigevorgängen)				
Mittel	3532.3	2983.0	264.2	285.1
Standardabweichung	71.9	71.2	6.7	6.8

Die Fahrgeschwindigkeiten der zeitkürzesten Verbindungen (19.8 km/h) in Tabelle 3 sind statistisch nicht signifikant tiefer als die Fahrgeschwindigkeiten auf den direkten Verbindungen (20.7 km/h). Dass ein Umweg gefahren wird ist klar, die längere Fahrt in Tabelle 2 gleicht aber die längere Reisezeit in Tabelle 1, so dass die Geschwindigkeit mehr oder weniger gleich sind. Die kleinen Unterschiede zwischen Reisegeschwindigkeiten (inklusive Zugang) sind auch nicht statistisch signifikant (13.3 km/h bzw. 13.9 km/h). Die mittlere Reisegeschwindigkeit der Wege liegt somit um 13.5 Km/h und die Fahrgeschwindigkeit des ÖV Systems (ohne Zu- und Abgang) liegt um 20 km/h. Die Anzahl Umsteigevorgänge pro Verbindung ist für die zeitkürzeste und den direkteste Verbindung (0.4 bzw. 0.2 pro Verbindung, t-Statistik=8.8) statistisch signifikant verschieden.

Tabelle 3 ÖV-Wege in der MZ- Stichprobe Kanton Zürich: Geschwindigkeiten (km/h), Umsteigehäufigkeiten und Stichprobengrösse

	Reise- geschwindigkeit	Fahrt- geschwindigkeit	Umsteige- vorgänge	Stich- probengrösse
Zeitkürzester Weg				
Mittel	13.3	19.8	0.4	2331
Standardabweichung	0.3	0.5	0.01	2331
Direkter Weg (Minimale Anzahl von Umsteigevorgängen)				
Mittel	13.9	20.7	0.2	2331
Standardabweichung	0.3	0.6	0.01	2331

8.2 Mittelwerte nach Hauptverkehrsmittel

Weil die zeitkürzesten und direktesten Verbindungen fast gleiche Geschwindigkeiten aufweisen werden im Weiteren aus Gründen der Übersichtlichkeit nur die Resultate für die zeitkürzesten Verbindungen berichtet.

75% (1745) der im Fahrplan gefundenen Wege waren als nicht-Bahn klassifiziert worden. Das sind Fahrten, bei denen mehr als die Hälfte der Fahrtlänge mit dem Tram, Postauto oder Bus zurückgelegt wurde. Die verbleibenden 25% (586) der Wege wurden als Bahn-Wege klassifiziert (S-Bahn oder Zug).

Nicht-Bahn - Wege sind im Schnitt 58% so lang wie Bahn-Wege. Reise/Fahrdistanz für nicht Bahn – Wege betragen 2650 und 2160 Meter gegenüber 4880 und 4220 Meter für Bahn-Wege. Die Differenzen der Reise- und Fahrtenlängen sind statistisch signifikant (t-Statistik=-12.7 für den gesamten Weg bzw. -11.7 für den Weg ohne Zu- und Abgang). Es werden sowohl längere Wege als auch längere Distanzen im Fahrzeug mit der Bahn unternommen.

Reise- und Fahrzeiten sind auch unterschiedlich. Nicht-Bahn - Wege bzw. Fahrten für die nicht-Bahn Fahrzeugtypen dauern durchschnittlich 13.8 bzw. 8.0 Minuten während Reise- und -Fahrzeiten für die Bahn jeweils 16.4 bzw. 8.6 Minuten betragen. Die Differenz der Reisezeiten ist signifikant (t-Statistik -5.9), aber nicht die Differenz der Fahrzeiten (t-Statistik -1.7).

Die Bahnwege sind deutlich direkter mit halb so vielen Umsteigevorgängen (0.21 pro Weg) gegenüber nicht-Bahn Wegen (0.44 pro Weg). Die t-Statistik für diese Differenz ist höchstsignifikant.

Die Reise- und Fahrgeschwindigkeiten der nicht-Bahn - Wege sind signifikant niedriger als die der Bahn-Wege (Tabelle 4, t-Statistik=-7.8 für die Reisegeschwindigkeit bzw. -8.1 für die Fahrtgeschwindigkeit im ÖV). Bahnwege haben nur eine Reisegeschwindigkeit von 17.8 km/h, was auf den längeren Zu- und Abgang zu den Bahnhöfen als zu den Bus- und Tramhaltestellen zurückzuführen ist, respektive auf unsere Annahme, dass der Zu- und Abgang zur nächstgelegenen Haltestelle nur zu Fuss zurückgelegt wurden. Diese Annahme entspricht der Stichprobe des Mikrozensus 2000, in dem Zu- und Abgang immer zu Fuss zurückgelegt wurde.

Tabelle 4 ÖV-Wege in der MZ- Stichprobe Kanton Zürich: Geschwindigkeiten (km/h), Umsteigehäufigkeit und Stichprobengrösse nach Hauptverkehrsmittel

	Reise- geschwindigkeit	Fahr- geschwindigkeit	Umsteige- vorgänge	Stich- probengrösse
Nicht Bahn-Wege				
Mittel	11.6	16.3	0.4	1745
Standardabweichung	0.3	0.5	0.01	1745
Bahn-Wege				
Mittel	17.8	29.6	0.2	586
Standardabweichung	0.8	1.6	0.02	586

8.3 Mittelwerte nach Verkehrszeit

Die Verkehrszeiten Samstag, Hauptverkehrszeit (HVZ), Nebenverkehrszeit (NVZ) und Randverkehrszeiten (RVZ) werden wie in Hackney et al. (2004) definiert (Tabelle 5). Wie auch in der mIV-Auswertung liegen für den RVZ-Zeitraum am wenigsten Beobachtungen vor. Jedoch kann mit 127 Beobachtungen angenommen werden, dass die Verfahren und Auswertungen für grosse Stichproben auch für diesen Zeitabschnitt gelten. Die Geschwindigkeiten während dieser Zeiträume zeigen keine signifikanten Unterschiede zu den Durchschnittswerten auf. Eine signifikant kleinere Anzahl Umsteigevorgänge während der HVZ ist aber zu vermer-

ken (Tabelle 6), was belegt, dass direktere Verbindungen während dieser Zeit angeboten werden als zu anderen Zeiten.

Tabelle 5 Definition der Verkehrszeiten

Tageszeit		Von (\geq)	Bis ($<$)	Von (\geq)	bis ($<$)
SA	Samstag		0.00-24.00		
HVZ	Hauptverkehrszeit	6:30	8:30	16:30	18:30
NVZ	Nebenverkehrszeit	8:30	16:30	18:30	20:30
RVZ	Randverkehrszeit	0:00	6:30	20:30	24:00

Tabelle 6 ÖV-Wege in der MZ- Stichprobe Kanton Zürich: Geschwindigkeiten (km/h), Umsteigehäufigkeit und Stichprobengrösse im ÖV nach Verkehrszeit

	Reise- geschwindigkeit	Fahr- geschwindigkeit	Umsteige- vorgänge	Stich- probengrösse
Samstag				
Mittel	13.4	19.3	0.4	778
Standardabweichung	0.5	0.9	0.01	778
HVZ				
Mittel	13.2	20.0	0.3	593
Standardabweichung	0.6	1.1	0.01	593
RVZ				
Mittel	13.6	20.0	0.4	127
Standardabweichung	1.6	2.9	0.01	127
NVZ				
Mittel	13.3	20.0	0.4	833
Standardabweichung	0.5	0.9	0.01	833

8.4 Mittelwerte nach Hauptverkehrsmittel und Verkehrszeit

Die Mittelwerte nach Aufteilung der Stichprobe nach Hauptverkehrsmitteln und Verkehrszeiten werden in Tabelle 7 und ihrer Fortsetzung gezeigt. Die Unterteilung von RVZ erzeugt eine Gruppe von 20 Beobachtungen mit dem Modus Bahn, durchaus ausreichend für statistische Vergleiche.

Es gibt keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Mittelwerten in Tabelle 7. Unterteilt nach Zeit und Verkehrsmittel gibt es keine feststellbaren Unterschiede zwischen Geschwindigkeit oder Anzahl der Umsteigevorgänge.

Die Bahn-Wege sind zu jeder Verkehrszeit schneller als die nicht Bahn - Wege und die zwei Hauptverkehrsmittel wären zu keiner Verkehrszeit austauschbar.

Tabelle 7 ÖV-Wege in der MZ- Stichprobe Kanton Zürich: Geschwindigkeiten (km/h), Umsteigehäufigkeit und Stichprobengrösse nach Verkehrszeit und Hauptverkehrsmittel

		Reisegeschwindigkeit	Fahrgeschwindigkeit	Umsteigevorgänge	Stichprobengrösse
Nicht Bahn					
Samstag	Mittel	11.8	16.4	0.5	586
	Standardabweichung	0.5	0.8	0.6	586
HVZ	Mittel	11.2	15.8	0.4	418
	Standardabweichung	0.5	0.9	0.6	418
RVZ	Mittel	12.0	17.0	0.4	107
	Standardabweichung	1.2	2.3	0.6	107
NVZ	Mittel	11.5	16.3	0.4	634
	Standardabweichung	0.4	0.8	0.6	634

Tabelle 7 ÖV-Wege in der MZ- Stichprobe Kanton Zürich: Geschwindigkeiten (km/h), Umsteigehäufigkeit und Stichprobengrösse nach Verkehrszeit und Hauptverkehrsmittel (Fortsetzung)

		Reisegeschwindigkeit	Fahrgeschwindigkeit	Umsteigevorgänge	Stichprobengrösse
Bahn					
Samstag	Mittel	17.8	27.8	0.2	192
	Standardabweichung	1.4	2.6	0.5	192
HVZ	Mittel	17.2	29.7	0.2	175
	Standardabweichung	1.2	2.8	0.5	175
RVZ	Mittel	20.7	33.2	0.4	20
	Standardabweichung	6.6	12.7	0.6	20
NVZ	Mittel	18.2	30.8	0.2	199
	Standardabweichung	1.3	2.7	0.4	199

8.5 Mittelwerte nach Gemeindetyp

Die Unterteilung der Wege nach ARE Gemeindetyp (Von/Nach) führt zu Teilmengen mit zu wenigen Wegen, um statistisch relevante Vergleiche zu ermöglichen. Tabelle 8 zeigt die mittleren Reisegeschwindigkeiten mit Standardabweichungen für die Kombinationen, für die eine Analyse sinnvoll ist (mehr als 20 Wege) und Tabelle 9 die Anzahl Beobachtungen in den Klassen. Die ARE Gemeindetypen sind wie folgt definiert (ARE, 2002):

- V1: Grosszentren, Nebenzentren der Grosszentren (Winterthur, Zürich)
- V2: Innere/äussere Gürtel der Agglomerationen der Grosszentren
- V3: Mittelzentren
- V4: Innere/äussere Gürtel der weiteren Agglomerationen
- V5: Kleinzentren, Wegpendlergemeinden, industrielle und tertiäre Gemeinden, semi-agrarische Gemeinden, agrarische Gemeinden, touristische Gemeinden

Tabelle 8 ÖV-Wege in der MZ- Stichprobe Kanton Zürich: Mittelwerte der Reisegeschwindigkeiten nach ARE Gemeindetyp von Quelle und Ziel (km/h).

Von \ Nach	V1	V2	V3	V4	V5	Alle
V1	12.6(0.4)		11.5(0.9)	11.7(0.8)		12.4(0.3)
V2						13.6(4.8)
V3	14.9(1.6)		18.1(2.3)	18.9(3.0)		16.8(1.2)
V4	14.8(1.1)		17.6(2.7)	13.4(1.3)		14.7(0.8)
V5						12.4(1.6)
Alle	13.1(0.3)	11.4(2.6)	15.2(1.1)	13.1(0.7)	14.7(2.2)	13.3(0.3)

Leere Felder = Stichprobe kleiner als 20 Wege

Tabelle 9 Verteilung der ÖV-Wege in der MZ- Stichprobe Kanton Zürich: Anzahl Wege nach ARE Gemeindetyp von Quelle und Ziel.

Von \ Nach	V1	V2	V3	V4	V5	Alle
V1	1291	3	101	216	19	1630
V2	6	0	0	2	3	11
V3	111	0	60	51	10	232
V4	225	2	51	114	10	402
V5	18	3	10	11	14	56
Alle	1630	11	232	402	56	2331

Die Geschwindigkeiten auf Wegen von Grosszentren in die Agglomeration oder in die Mittelzentren ($V1 \rightarrow V3$, $V1 \rightarrow V4$) sind am langsamsten und statistisch nicht voneinander zu unterscheiden. Der Verkehr in die Gegenrichtung ($V3 \rightarrow V1$, $V4 \rightarrow V1$) zeigt 2-3 km/h schnellere Geschwindigkeiten auf. Die t-Statistik für die Hypothese, dass die mittlere Geschwindigkeiten sich nach Fahrtrichtung unterscheiden, ist 1.85 für $V1-V3$ bzw. 2.3 für $V1-V4$, also signifikant bei $\alpha=10\%$ bzw. 5% . Hier ist es deutlich, dass das ZVV-Angebot schnellere Reisen in die Stadtkerne hinein leistet als aus den Städten hinaus.

Innerhalb und zwischen Grosszentren ($V1 \rightarrow V1$) ist die Geschwindigkeit um 0.7 km/h langsamer als durchschnittlich für das gesamte ÖV System, doch ist dieser Unterschied nicht statistisch signifikant bei 5% oder 10% ($t=1.4$).

Wege zwischen und innerhalb der Mittelzentren ($V3 \rightarrow V3$) und von Mittelzentrum in die weitere Agglomeration ($V3 \rightarrow V4$, $V4 \rightarrow V3$) sind am schnellsten. Hier sind die Distanzen am weitesten und die Raumüberwindung weniger beschwert durch anderen Verkehr oder dichte Infrastruktur (Kreuzungen). Die mittlere Geschwindigkeit auf den schnellsten Wegen zwischen Mittelzentren und Agglomerationen ($V3 \rightarrow V4 = 18.9$) ist 6.3 km/h höher als für Wege innerhalb und zwischen Grosszentren ($V1 \rightarrow V1 = 12.6$) und 5.6 km/h höher als der Gesamtmittelwert (13.3 km/h). Die Hypothese für nicht gleiche Geschwindigkeiten ist statistisch hoch signifikant.

Die mittlere Geschwindigkeit der Wege innerhalb/zwischen weiteren Agglomerationen ($V4 \rightarrow V4 = 13.4$) ist dann wieder gleich dem Gesamtmittelwert.

9 Zusammenfassung und Ausblick

Die Qualität des öffentlichen Verkehrs wird in dieser Auswertung auf die Geschwindigkeit reduziert, um sie in der selben Einheit [km/h], wie den motorisierten Individualverkehr erfassen zu können. Die 2331 repräsentativen Quell/Zielbeziehungen wurden aus dem Mikrozensus 2000 bezogen. Wegen der bekannten Ungenauigkeiten in den berichteten Reisezeiten und Distanzen bzw. der mangelnden Routenwahlinformationen wurden den berichteten Wegen aus dem Fahrplan des ZVV entsprechende Verbindungen zugespielt und für diese auch die Zugangsdistanzen, Reiselängen und Reisedauern ermittelt. Da wir annehmen können, dass der ÖV insbesondere dort genutzt wird, wo er konkurrenzfähig ist, geben die ermittelten Werte einen Eindruck der Qualität, wie sie von den Nutzern des Systems erfahren wird.

Die Fahrgeschwindigkeit der direktesten Verbindung ist nicht statistisch signifikant höher als die der zeitkürzesten Verbindung, obwohl die direktesten Verbindungen deutlich länger sind (einen Umweg fahren), weil sie auch längere Fahrzeiten haben. Der Unterschied zwischen den Reisegeschwindigkeiten der Verbindung mit der minimalen Anzahl Umsteigevorgänge und der zeitkürzesten Verbindung ist auch nicht statistisch signifikant. Die detaillierten Resultate wurden für die zeitkürzesten Wege berichtet, da angenommen wird, dass die gesparte Reisezeit dem Fahrgast nützlicher ist als weniger oft umzusteigen.

Die mittlere zeitkürzeste Reisegeschwindigkeit mit den öffentlichen Verkehrsmitteln im Kanton Zürich beträgt 13.3 km/h (Standardabweichung 0.3 km/h) von Tür zu Tür und die Fahrgeschwindigkeit 19.8 km/h (0.5) nach dem Einstieg in das erste Fahrzeug der Verbindung bis zum Ausstieg aus dem letzten. Wege mit der Bahn sind deutlich schneller (17.8 km/h (0.8) Reisegeschwindigkeit) als mit dem Bus oder Tram (Reisegeschwindigkeit 11.6 km/h (0.3)).

Die direktesten Verbindungen (kleinste Anzahl Umsteigevorgänge) werden während den Hauptverkehrszeiten (HVZ) beobachtet. Sonst sind Unterschiede zwischen den Geschwindigkeiten nach Zeit und Verkehrsmittel nicht aussagekräftig.

Wege innerhalb oder zwischen den Grosszentren (Zürich, Winterthur), sowie innerhalb oder zwischen Agglomerationen, haben niedrigere durchschnittliche Reisegeschwindigkeiten. Das ist in den Grosszentren zu erwarten, denn sie machen den Grossteil der Stichprobe aus. In den Agglomerationen ist anzunehmen, dass die Wege, die in diesen Gemeinden mit dem ÖV gemacht werden, sich eher innerorts als zwischen den Agglomerationen abwickeln, sonst wären die Geschwindigkeiten aufgrund der Hochleistungsstrassen zwischen den Agglomerationen höher. ÖV Fahrten über grössere Distanzen in weniger dicht besiedelten Gebieten fahren am

schnellsten. Dass die Reisegeschwindigkeit zu den Grosszentren hin schneller ist als aus den Grosszentren hinaus spiegelt die günstigere Umsteigemöglichkeiten vom Lokalbus zum Streckenbus oder zur S-Bahn wieder, da hier die Fahrpläne im Gegensatz zur verkehrten Richtung oft besser koordiniert sind.

Die Zugangszeiten und -distanzen sind statistisch signifikant kürzer als die Abgangszeiten und -distanzen, was auf die Haltestellendichten zurückzuführen ist.

Andere Einflüsse auf die Reisegeschwindigkeit des ÖVs sind bei einem Konfidenzniveau von 5% nicht signifikant.

Die hier ermittelten Geschwindigkeiten sind systematisch vergleichbar. Es sollte aber nochmals darauf hingewiesen werden, dass eine Reihe von vereinfachenden Annahmen getroffen werden mussten, die im Einzelfall zu einer Veränderung der tatsächlichen Geschwindigkeiten führen (zu Fussgeschwindigkeiten, Umwegefaktoren für die Zu- und Abgangswege, Abweichung zwischen Geometrie der Strecken und der Luftliniendistanzen zwischen den Haltestellen, wo echte Abstände nicht erhältlich waren).

Die Reise- und Fahrtgeschwindigkeiten sind im Vergleich zu den Streckengeschwindigkeiten des mIV (Tabelle 10, Hackney et al., 2004) niedrig, wenn auch im Stadtgebiet Zürich und den anderen Verdichtungsgebieten vergleichbar. Es wäre wünschenswert, die mIV Wege des Mikrozensus vergleichbar auszuwerten. Die jetzt vorliegenden Schätzungen der mIV - Streckengeschwindigkeiten würden dies erlauben.

In einem nächsten Schritt sollte die Qualität des ÖV anhand der generalisierten Kosten der ÖV – Nutzung bewertet werden. Die zur Zeit laufenden Arbeiten zur Ermittlung einer aktuellen ÖV – Nachfragematrix des Kantonsgebiets wird hier die entsprechenden Werkzeuge (Parameter des Verkehrsmittelwahlmodells) zur Verfügung stellen.

Tabelle 10 Mittlere Geschwindigkeiten miV nach Strassentyp und Verkehrszeit

Strassentyp	Data	SA	HVZ	NVZ	RVZ	Mo.-Fr.	Alle
HLS	Mittel (km/h)	101.2	85.3	101.5	93.0	96.1	97.1
	Standardabweichung (km/h)	8.3	5.5	8.3	7.0	6.8	8.1
	Anzahl Modellstrecken	2495	2235	6306	991	9532	12027
	Km	1475.9	1359.4	3703.2	628.4	5691.0	7166.9
HVS/HVS II	Mittel (km/h)	40.5	35.0	39.0	41.6	38.1	38.6
	Standardabweichung (km/h)	2.1	1.5	1.9	2.8	1.8	2.1
	Anzahl Modellstrecken	5696	5246	14732	2648	22626	28322
	Km	2159.5	2244.9	5808.1	846.8	8899.7	11059.2
SS	Mittel (km/h)	50.9	41.7	46.1	48.3	45.0	46.1
	Standardabweichung (km/h)	3.0	2.2	2.1	4.7	1.9	1.8
	Anzahl Modellstrecken	1118	1195	3052	258	4505	5623
	Km	753.0	728.1	2057.0	185.5	2970.6	3723.5
ES	Mittel (km/h)	30.4	26.5	28.7	30.7	28.3	28.7
	Standardabweichung (km/h)	2.1	1.7	1.4	2.7	1.3	1.3
	Anzahl Modellstrecken	724	647	1874	391	2912	3636
	Km	259.1	255.0	689.4	119.7	1064.0	1323.1
Zonenanschluss	Mittel (km/h)	22.4	21.3	21.9	22.0	21.7	21.8
	Standardabweichung (km/h)	1.8	1.6	1.2	3.1	1.1	0.9
	Anzahl Modellstrecken	424	478	1093	110	1681	2105
	Km	127.2	148.0	339.1	30.9	518.0	645.2
Übrige Typen	Anzahl Modellstrecken	48	59	81	10	150	198
	Km	50.6	79.5	54.7	6.7	140.8	191.4
Total	N	10505	9860	27138	4408	41406	51911
	Km	4825.3	4814.8	12651.4	1817.9	19284.1	24109.4

10 Literatur

Bundesamt für Raumentwicklung und Bundesamt für Statistik (2001) Mobilität in der Schweiz, Ergebnisse des Mikrozensus 2000 zum Verkehrsverhalten, Bern und Neuenburg.

Hackney, J.K., Z. Oblozinska und K.W. Axhausen (2004) Qualität des Verkehrsangebots: mIV Zwischenbericht, *Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung*, **213**, IVT, ETH Zürich, Zürich.

Jermann, J. (2003) Geokodierung Mikrozensus 2000, *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung*, **177**, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich.

Jermann, J. (2004) GIS-basiertes Konzept zur Modellierung von Einzugsbereichen auf Bahnhaltstellen, Dissertation, Departement Bau, Umwelt und Geomatik, ETH Zürich, Zürich