



Kapazitäten und Flächenbedarf öffentlicher Verkehrssysteme in schweizerischen Agglomerationen

Roland Peter

Semesterarbeit
Studiengang Bauingenieurwissenschaften

Juni 2005

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

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Begriffsdefinition	4
3	Kapazität.....	5
3.1	Betrachtete Verkehrsmittel	5
3.2	Qualitätskriterien.....	5
3.3	Komfortkriterien	6
4	Leistung	10
4.1	Datengrundlage	10
4.2	Technische Leistungsfähigkeit.....	10
4.3	Regionale Verkehrslinien.....	11
4.4	Innerstädtische Verkehrslinien.....	14
4.5	Auswertungen.....	16
5	Flächenbedarf	18
5.1	Eigentassierung.....	18
5.2	Reiner Mischverkehr.....	18
5.3	Begleitende Massnahmen im Mischverkehr	20
6	Erkenntnisse	22
6.1	Kapazität	22
6.2	Leistung.....	22
6.3	Flächenbedarf.....	24
7	Ausblick	27
8	Dank	28
9	Literatur.....	29

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Komfortkriterien für Bus, Tram und U-Bahn	7
Tabelle 2	Komfortkriterien für S-Bahn	7
Tabelle 3	Kapazitäten; mit Komfortkriterien abgemindert	9
Tabelle 4	Kapazitäten; mit Komfortkriterien abgemindert	9
Tabelle 5	Belastungsgrenzen im Mischverkehr.....	19
Tabelle 6	Tagesleistungen verschiedener Verkehrsmittel.....	23
Tabelle 7	Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit des Flächenbedarfs.....	23
Tabelle 8	Lichttraumprofilbreiten verschiedener Verkehrssysteme.....	25

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Schema zur Bestimmung der massgebenden Kapazität.....	8
Abbildung 2	Regionale Ganglinie der SBB.....	12
Abbildung 3	Beschriftung.....	13
Abbildung 4	Ganglinie im regionalen Verkehr; mit Angebotslinie.....	14
Abbildung 5	Tagesganglinie im innerstädtischen Verkehr.....	15
Abbildung 6	Tagesganglinie im innerstädtischen Verkehr; mit Angebotslinie	16
Abbildung 7	Auslastung verschiedener Linien (Tageswerte)	17
Abbildung 8	Eigentrossierung- und Mischverkehrssituation.....	25
Abbildung 9	Angebot- und Nachfragekurve hin zum Zentrum.....	1
Abbildung 10	Angebot- und Nachfragekurve weg vom Zentrum.....	1
Abbildung 11	Angebot- und Nachfragekurve einer Grossprofil U-Bahnlinie (U9.....	2
Abbildung 12	Angebot- und Nachfragekurve einer Kleinprofil U-Bahnlinie (U2)	2

Semesterarbeit Studiengang Bauingenieurwissenschaften

Kapazitäten und Flächenbedarf öffentlicher Verkehrssysteme in schweizerischen Agglomerationen

Roland Peter
Rebhüsweg 1a
8046 Zürich

Telefon: 078/656 35 11
rolpeter@student.ethz.ch

Juni 2005

Kurzfassung

Die Kapazität der Verkehrsmittel definiert sich durch die Anzahl Sitzplätze und Stehplätze, wobei diese mit 3 Pers./m² pro Stehplatzfläche berechnet werden. Die Kapazität wird durch zeitlich verschiedene Komfortkriterien abgemindert. Es bestehen für den regionalen und den innerstädtischen Verkehr verschiedene Nachfrageganglinien. In der Angebotsplanung sollte berücksichtigt werden, dass das Angebot das 1.5 bis 2-fache der Nachfrage betragen soll.

Es gibt drei flächenbedarfsrelevante Trassierungsvarianten; Die Eigentrassierung, reiner Mischverkehr, sowie der Mischverkehr mit begleitenden Massnahmen. Da der Mischverkehr einen höheren Flächennutzungsgrad als die Eigentrassierung aufweist, ist diese Variante wenn möglich vorzuziehen. Die Quantifizierung des Flächenanteils kann bei Eigentrassierung über die Breite des Lichtraumprofils erfolgen, bei Mischverkehr über den Anteil an der Gesamtverkehrsmenge oder über den Grünzeitanteil.

Schlagworte

Kapazität; Leistung; Flächenbedarf; Agglomerationsverkehr

Zitierungsvorschlag

Peter, R. (2005) Kapazitäten und Flächenbedarf öffentlicher Verkehrssysteme in schweizerischen Agglomerationen, Semesterarbeit im Studiengang Bauingenieurwissenschaften, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme IVT, ETH Zürich

1 Einleitung

In der heutigen Zeit mit einem ständig steigenden Mobilitätsbedürfnis und wachsenden Agglomerationen stellt sich die Frage nach der geeigneten Erschliessung der Agglomerationen mit dem öffentlichen Verkehr. Die Verkehrsinfrastrukturen prägen das städtebauliche Bild sehr stark. Deshalb, und weil die zur Verfügung stehenden Flächen immer knapper werden, ist eine optimale Nutzung dieser Fläche eine Herausforderung der Verkehrspolitik in der nächsten Zeit.

Bei der Angebotsplanung stellt sich häufig die Frage nach dem am besten geeigneten Verkehrsmittel und dessen Kapazität. Selbst wenn die Nachfrage bekannt ist, ist die Gegenüberstellung von Angebot und Nachfrage nicht banal, da sie zeitlich stark variieren. Bei der Definition des Angebots werden immer auch qualitative Aspekte tangiert. Diese Arbeit möchte die Leistungsfähigkeit der verschiedenen Verkehrsmittel und die dazugehörige Komfortkriterien aufzeigen. Daneben soll sie auch Aufschluss über den Flächenbedarf von öffentlichen Verkehrsmitteln in schweizerischen Agglomerationen geben.

2 Begriffsdefinition

Kapazität [Personen]

Als Kapazität eines Verkehrssystems wird das Fassungsvermögen bezeichnet. D.h. wie viele Fahrgäste in einem Verkehrsmittel Platz finden, oder wie viele Fahrgäste auf einer Linie gleichzeitig transportiert werden können.

Leistung [Pkm/h]

Als Leistung eines Verkehrssystems werden die geleisteten Personenkilometer pro Zeiteinheit bezeichnet. Sie setzt sich daher aus der Arbeit (Personenkilometer) und der Zeit zusammen. Wird die Verkehrsleistung zwischen zwei definierten Punkten betrachtet, können auch die beförderten Personen pro Zeiteinheit als Leistung angesehen werden.

Belastung [P/h]

Die Belastung zwischen zwei Punkten wird als Personen pro Stunde angegeben. Anhand der Kapazität eines Fahrzeugs kann die Anzahl der einzusetzenden Fahrzeuge bestimmt werden.

3 Kapazität

3.1 Betrachtete Verkehrsmittel

In dieser Arbeit werden die folgenden Verkehrsmittel betrachtet:

- Standardbus
- Gelenkbus
- Tram 2000
- Tram Cobra
- S-Bahn Flirt
- S-Bahn Doppelstock
- U-Bahn Gross
- U-Bahn Klein

Bis auf die U-Bahn und das S-Bahn Modell ‚Flirt‘ finden sich alle betrachteten Verkehrsmittel im Verkehrsraum Zürich. Sie stehen stellvertretend für die im schweizerischen Agglomerationsverkehr verwendeten Verkehrsmittel. Die U-Bahn-Varianten Gross und Klein orientieren sich an den Fahrzeugdaten der U-Bahn in Berlin, welche zwei verschiedene Profile betreibt.

3.2 Qualitätskriterien

Bei der Bemessung der Kapazität eines öffentlichen Verkehrssystems sollen auch das bestehende verkehrliche Umfeld und die Eigenheiten der zu erfüllenden Funktion miteinbezogen werden. Dies kann über die Definition von Qualitätskriterien erfolgen. Für die Bestimmung der Kapazität sind zwei relevante Grössen festzuhalten:

Reisezeit

Die Länge der Aufenthaltsdauer, welche der Fahrgast im Fahrzeug verbringt, ist massgebend für die Komfortansprüche die er an das Verkehrssystem stellt. Je länger die Reisezeit, desto höher sind die Ansprüche. Diese können sich wie folgt äussern:

- Anspruch auf Sitzplatz
- Klimaanlage vorhanden
- Geringer Lärmpegel

Im Folgenden wird von dem wichtigsten Kriterium der Verfügbarkeit eines Sitzplatzes ausgegangen. Es wird postuliert: Ist die im Fahrzeug verbrachte Zeit länger als 15 min, so soll dem Fahrgast ein Sitzplatz zur Verfügung stehen.

Konkurrenz des Individualverkehr

Die Situation beim Individualverkehr auf der gleichen Strecke sollte ebenfalls miteinbezogen werden. Der Ausbaugrad sowie eventuelle Kapazitätsengpässe spielen hier eine wichtige Rolle. Auch die Parksituation beim Zielort kann für den Benutzer ein wichtiges Kriterium sein.

Hier lässt sich folgern: Ist die Situation beim IV zwischen denselben Start/Zielorten ohne Kapazitätsengpässe oder eingeschränkte Parkmöglichkeiten, so sollte die Komfortgrenze auf den öffentlichen Verkehrsmitteln nicht überschritten werden. Ansonsten ist durch die Qualitätseinbusse ein wichtiger Nachteil im intermodalen Verkehrsmarkt gegenüber dem Individualverkehr gegeben.

3.3 Komfortkriterien

Der Komfort eines Verkehrsmittels ist ein Angebotsselement, und damit stellt sich bei der Planung eines Angebots auch die Frage nach dem zu bietenden Komfort. Dazu zählen unter anderem die technische Ausrüstung des Fahrzeugs wie Klimaanlage, gepolsterte Sitzplätze usw. Viele dieser Grössen werden mit der Anschaffung des Fahrzeugs bestimmt. Vor allem während den Stosszeiten spielt der Platz, welcher dem Fahrgast zur Verfügung steht, eine wichtige Rolle. Konkret geht es darum, wie viele Sitz- und Stehplätze angeboten werden. Wird eine maximale Belegung definiert, so hat diese einen Einfluss auf die Kapazität des Verkehrsmittels. Die Festlegung der Komfortkriterien ist auch von den Eigenheiten der Fahrt abhängig. Dabei ist vor allem die Aufenthaltsdauer im Verkehrsmittel von Bedeutung. Dauert die Fahrt

länger als 15 Minuten, so sollte dem Fahrgast ein Sitzplatz zur Verfügung stehen. Bei Bus, Tram und U-Bahn kann davon ausgegangen werden, dass für Fahrten, die länger als 15 Minuten dauern, ein Sitzplatz zur Verfügung steht. Bei der Bahn wird angenommen, dass die 20% der Sitzplätze, welche in der Hauptverkehrszeit als Stehplätze ausgewiesen werden, von Fahrgästen mit Fahrtauern von maximal 15 Minuten beansprucht werden. Es können folgende Komfortkriterien postuliert werden.

Tabelle 1 Komfortkriterien für Bus, Tram und U-Bahn

Verkehrszeit	Anzurechnende Plätze
Spitzenzeit 20 Min	80%
Spitzenstunde 60 Min	65%
Zwischenzeit 60 Min	50%
Randzeit 60 Min	nur Sitzplätze

Quelle: (Weidmann 2004, 21)

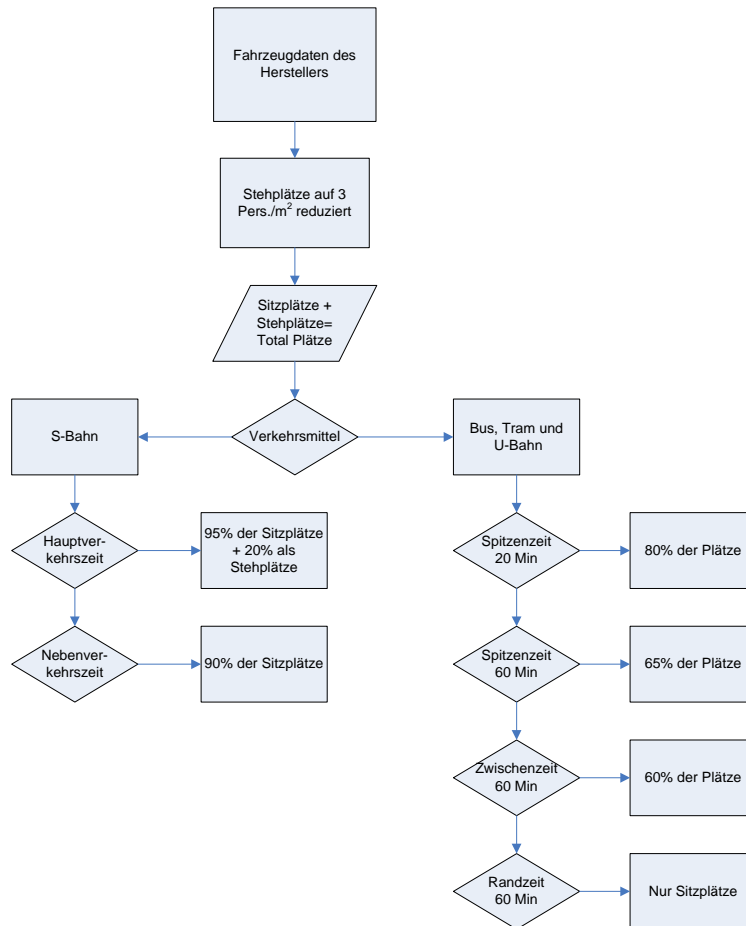
Tabelle 2 Komfortkriterien für S-Bahn

Verkehrszeit	Anzurechnende Plätze
Hauptverkehrszeit	95% der Sitzplätze und 20% als Stehplätze
Nebenverkehrszeit	90% der Sitzplätze

Quelle: (Weidmann 2004, 32)

Das Vorgehen zur Bestimmung der Kapazität des Fahrzeugs ist aus dem Schema in Abb. 1 ersichtlich.

Abbildung 1 Schema zur Bestimmung der massgebenden Kapazität



Gemäss diesem Vorgehen ergeben sich für die untersuchten Verkehrsmittel die folgenden Kapazitäten:

Tabelle 3 Kapazitäten; mit Komfortkriterien abgemindert

Verkehrsmittel	Standardbus	Gelenkbus	Tram 2000	Tram Cobra	U-Bahn Gross	U-Bahn Klein
Sitzplätze	34	43	50	96	208	76
Stehplätze (3Pers/m ²)	34	49	53	107	415	196
Spitzenzeit 20 Min	54	74	82	163	405	218
Spitzenzeit 60 Min	44	60	67	132	425	177
Zwischenzeit 60 Min	34	46	52	102	312	136
Randzeit 60 Min	34	43	50	96	208	76

Tabelle 4 Kapazitäten; mit Komfortkriterien abgemindert

Verkehrsmittel	S-Bahn Flirt	S-Bahn Doppelstock
Sitzplätze	139	387
Stehplätze (3Pers/m ²)	135	139
Hauptverkehrszeit	160	445
Nebenverkehrszeit	125	348

4 Leistung

4.1 Datengrundlage

Die in diesem Kapitel dargestellten Daten basieren auf realen Fahrgastganglinien der Verkehrsbetriebe Zürich (VBZ). Es sind Tagesganglinien, welche am stärksten frequentierten Querschnitt erhoben worden sind. Die erhaltenen Daten betreffen drei Buslinien und eine Tramlinie. Für den regionalen Verkehr wurde eine Ganglinie aus den Reglementen der SBB verwendet (SBB, 1998). Für die Simulierung der Nachfrage für die U-Bahn wird eine relative Nachfragekurve aus den innerstädtischen Ganglinien der VBZ gebildet.

4.2 Technische Leistungsfähigkeit

Die technische Leistungsfähigkeit ist die maximale Beförderungsleistung eines bestimmten Verkehrsmittels. Sie stellt somit einen oberen Grenzwert dar. Die technische Leistungsfähigkeit ist eine theoretische Grösse und kommt in der Praxis nur selten zur Anwendung. Sie ist von der Kapazität des einzelnen Fahrzeug und der minimalen Kursfolgezeit abhängig.

Definition: Die technische Leistungsfähigkeit gibt an, wie viele Personen an einem Querschnitt von einem Verkehrsmittel unter Einhaltung eines definierten Komfortstandards pro Stunde befördert werden können.

Als Komfortstandard für die technische Leistungsfähigkeit gelten in dieser Arbeit die Komfortkriterien für die 20 Minuten Belastungsspitze.

Die minimale Kursfolgezeit wird durch die technische, nicht die betriebliche Machbarkeit bestimmt. Dabei fahren Bus und Tram auf Sicht, die minimale Kursfolgezeit wird dabei auf 45 Sekunden gesetzt. In dieser Zeit ist der Fahrgastwechsel, die Zeit für die Wegfahrt von der Haltestelle und ein minimaler Abstand des nächsten Fahrzeugs enthalten.

Bei S-Bahn und U-Bahn ist die Situation leicht verschieden. Diese Fahrzeuge verkehren nicht auf Sicht, die minimale Kursfolgezeit ist demnach von der Sicherung der Gleisstrecke abhängig. Bei der S-Bahn liegt der Wert für die minimale Kursfolgezeit bei 2 Minuten. Bei der U-Bahn ist aufgrund der besseren Fahrzeugbeschleunigungseigenschaften und der kreuzungsfreien Strecke von einer minimalen Kursfolgezeit von 1 Minute auszugehen.

Obwohl diese Werte theoretischer Natur sind, können sie dennoch in seltenen Fällen in der Realität Anwendung finden. So beträgt die minimale Kursfolgezeit im S-Bahn-Tunnel zwischen dem Hauptbahnhof Zürich und dem Bahnhof Zürich Stadelhofen 2 Minuten. Bei den Buslinien kann es auf einer Zufahrtstrecke zu einem Knotenpunkt zu einer Bündelung von Linien und somit zu sehr kurzen Kursfolgezeiten kommen.

4.3 Regionale Verkehrslinien

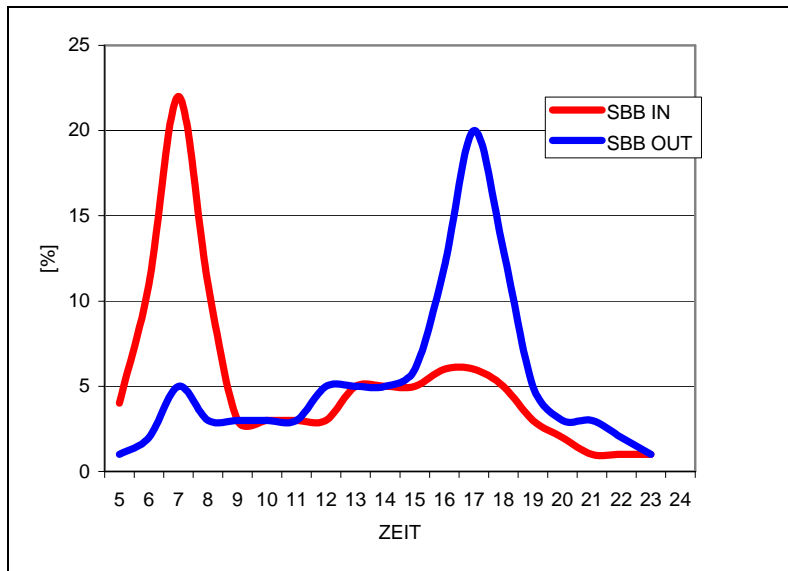
Der Passagierstrom einer öffentlichen Verkehrslinie ist über den Tag verschieden. Die Ganglinie bildet diese Belastung im Tagesverlauf ab. Unterschiedliche Funktionen der Verkehrsmittel oder Linien haben jeweils typische Ganglinien. Für den Agglomerationsverkehr sind zwei massgebende Ganglinien zu verzeichnen: Die innerstädtische und die regionale Ganglinie. Auf diese wird hier getrennt eingegangen. Die Tagesganglinien sind jeweils auf den meistbelasteten Querschnitt bezogen.

Regionale Ganglinie

Die regionale Ganglinie ist im Agglomerationsverkehr recht häufig anzutreffen. Sie tritt immer dann auf, wenn ein Zentrum mit einem mehr oder minder weitläufigen Einzugsgebiet verbunden wird. In der Regel sind im Zentrum Arbeits- und Ausbildungsplätze angesiedelt, wogegen im Einzugsgebiet gewohnt wird. Dies hat zur Folge, dass die Ganglinie in Richtung Zentrum eine ausgeprägte Morgenspitze aufweist, in der umgekehrten Richtung hingegen eine deutliche Abendspitze festgestellt werden kann. Diese Form der Ganglinie ist nicht an ein bestimmtes Verkehrsmittel gebunden, vielmehr ist die Erschliessungsfunktion entscheidend. Sie ist sowohl bei Bus, wie auch bei S-Bahn anzutreffen. Beim Bus ist aufgrund der generell kürzeren Reisezeiten unter Umständen noch eine Mittagsspitze feststellbar.

Die SBB hat in ihren Reglementen eine regionale Ganglinie als Planungsinstrument aufgeführt (SBB 1998, 12). In Abb. 2 ist diese abgebildet. SBB IN stellt die Ganglinie hin zum Zentrum dar, mit einer deutlichen Morgenspitze, SBB OUT ist die Ganglinie weg vom Zentrum.

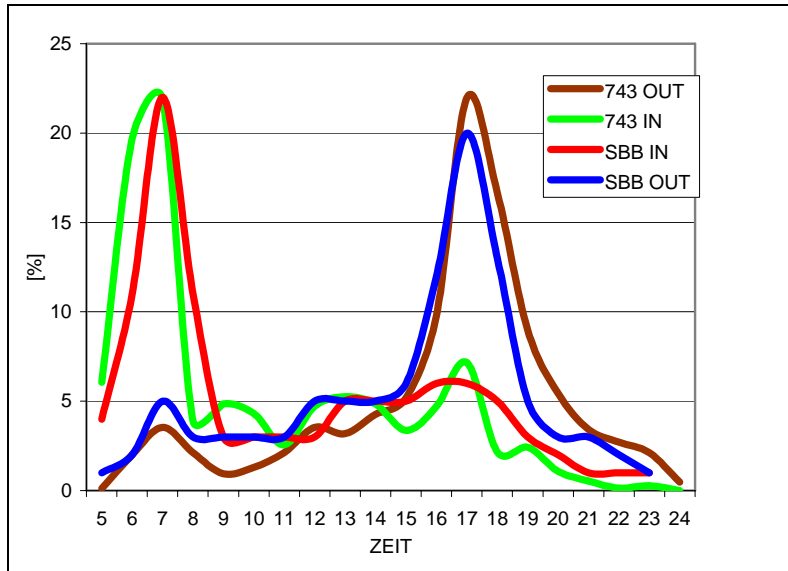
Abbildung 2 Regionale Ganglinie der SBB



Es stellte sich nun die Frage, ob dieses Planungsinstrument der SBB auch der Realität entspricht. Um dies zu überprüfen wurde sie mit der Nachfrageganglinie einer regionalen Buslinie verglichen¹. Wie Abb. 3 zeigt, korrelieren die beiden Kurven sehr gut. Dies zeigt auch, dass die Form der Ganglinie nicht vom Verkehrsmittel abhängig ist, sondern von der vom Verkehrsmittel ausgeübten Funktion. Bei der regionalen Buslinie sind im Gegensatz zur SBB-Ganglinie die beiden Spitzen gleich hoch.

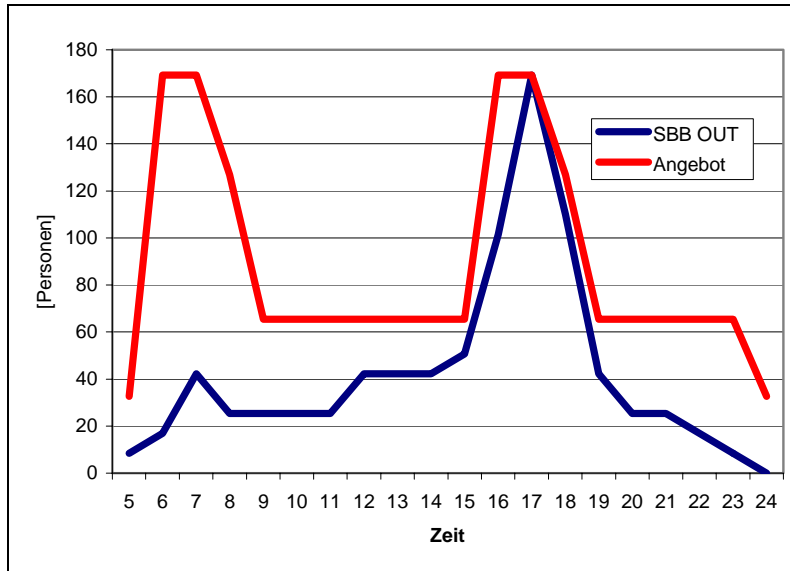
¹ Buslinie 743; verkehrt zwischen Bahnhof Zürich Stettbach und Maur, See.

Abbildung 3 Regionale Ganglinie der SBB und der Buslinie 743



Ein Angebot für die Nachfrage im regionalen Agglomerationsverkehr könnte wie in Abb. 4 aussehen. Die Angebotslinie besitzt zwei Spitzen, da die entgegengesetzte Richtung die Nachfragespitze am Morgen hat und aus Gründen des Umlaufs die Fahrzeuge in beiden Richtungen verkehren müssen. In dieser Angebotslinie sind die für die verschiedenen Zeiten gültigen Komfortkriterien enthalten. Gemäss Tabelle 3 haben die Standardbusse für die Zwischenzeit und die Randzeit dieselbe Kapazität. Deshalb ist in der Abb. 4 kein Unterschied in der Kapazität während der Zwischenzeit zwischen den Nachfragespitzen und der Randzeit am Abend erkennbar. Es ist deutlich zu erkennen, dass das Angebot nicht genau dem Verlauf der Nachfrage folgen kann und somit ein Überangebot entsteht.

Abbildung 4 Ganglinie im regionalen Verkehr; mit Angebotslinie



In Anhang 1 finden sich Vergleiche der Nachfragekurve der regionalen Ganglinie der SBB mit dem Angebot einer S-Bahn-Linie. Dabei wurde die Nachfragekurve dem maximalen Angebot angepasst. Dabei ist zu sehen, dass die Kapazität vor allem in der Zeit von 12 bis 16 Uhr nicht ausreichend ist. Es stellt sich da die Frage wie zweckmässig die Nachfragekurve der SBB ist. Ein Vergleich mit den realen Fahrgastzahlen ist anzustreben.

4.4 Innerstädtische Verkehrslinien

Als innerstädtische Linie gelten Linien, die keine regionale Erschliessungsfunktion sondern eine Verbindungsfunktion von Stadtteilen ausüben.

Die innerstädtische Ganglinie zeigt als Hauptmerkmal – im Gegensatz zur regionalen Ganglinie – zwei Belastungsspitzen. Dies ergibt sich aus der Tatsache, dass innerstädtische Verkehrslinien meist keine eindeutige Richtung aus dem oder in das Zentrum besitzen.

Abbildung 5 Tagesganglinie im innerstädtischen Verkehr

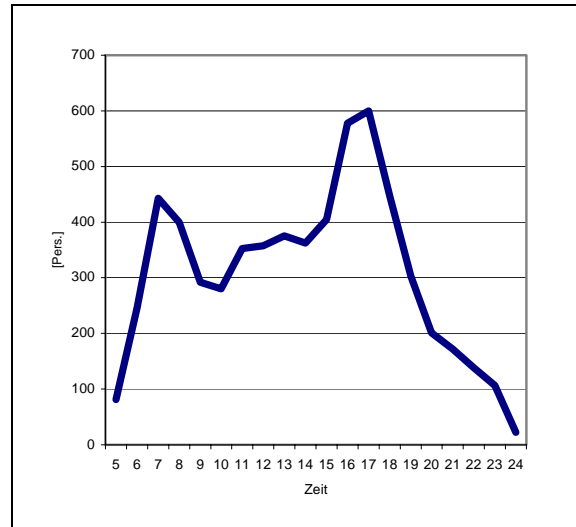
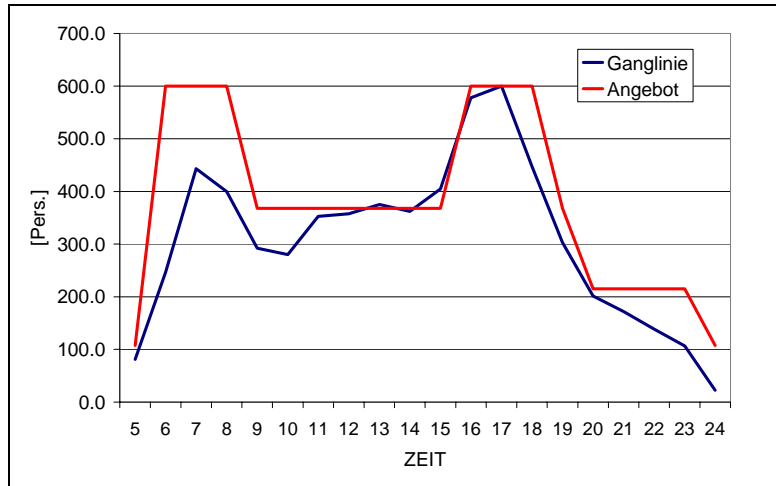


Abb. 5 zeigt die arithmetisch gemittelte Ganglinie einer innerstädtischen Bus und einer Tramlinie. Auffallend ist neben den beiden Belastungsspitzen eine durchgehend hohe Nachfrage in der Zwischenzeit von 11 Uhr bis 15 Uhr. Die Ganglinie lässt sich damit klar in drei Bereiche unterteilen. Die beiden Belastungsspitzen morgens und abends, die Zwischenzeit dazwischen und die Randzeit frühmorgens und abends.

Abbildung 6 Tagesganglinie im innerstädtischen Verkehr; mit Angebotslinie



In Abb. 6 ist der Nachfrageganglinie eine Angebotslinie hinzugefügt. Sie zeigt die angebotene Kapazität, bestehend aus den Anzahl Kurse und den in Kapitel 3.3 beschriebenen Komfortkriterien. Die Anzahl Kurse sind den realen Fahrplänen innerstädtischer Linien entnommen.

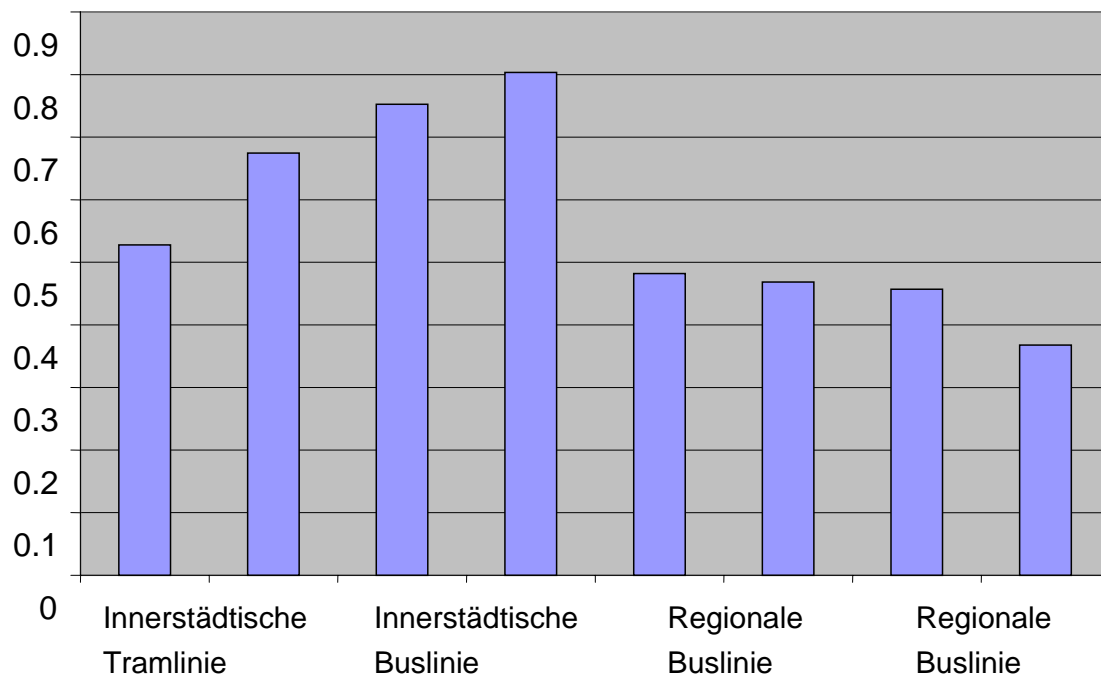
Der Vergleich von Angebot und Nachfrage bei der U-Bahn befindet sich in Anhang 2. Die simulierte Nachfragekurve aus den arithmetisch gemittelten Daten der innerstädtischen Bus- und Tramlinie wurde dem Angebotsmaximum angepasst, d.h. während der Nachfragespitze wird die Kapazität voll ausgeschöpft. Als Angebotsgrundlage wurde der Fahrplan einer Grossprofil U-Bahn sowie einer Kleinprofil U-Bahn in Berlin genommen. Die Nachfragekurve passt relativ gut zur Angebotskurve. Ein Vergleich mit realen Fahrgastdaten wäre trotzdem wünschenswert.

4.5 Auswertungen

Wenn man die tatsächlich nachgefragte Leistung und die angebotene Kapazität vergleicht, ergibt sich ein Bild wie in Abb. 7 dargestellt. Dabei werden die Tageswerte verglichen. Da die Vergleiche bei U-Bahn und S-Bahn auf simulierten Daten basieren, sind sie in diesen Auswertungen nicht berücksichtigt. Die Tramlinie wird mit Doppelkompositionen betrieben, daher die geringere Auslastung der Tramlinie gegenüber der innerstädtischen Buslinie. Es fällt auf, dass die innerstädtischen Linien deutlich besser ausgelastet sind als die regionalen Busli-

nien. Bei den regionalen Linien führt die fehlende Nachfrage in der Zwischenzeit zu einer schlechteren Gesamtauslastung. Diese Werte sind mit den in dieser Arbeit definierten Komfortkriterien gemessen. Da diese strenger als jene der Hersteller bzw. mancher Betreiber sind, ist das Angebot tiefer und somit die Auslastung höher. Dies erklärt die Differenz zu den ansonsten in der Praxis üblichen, eher tieferen Werten.

Abbildung 7 Auslastung verschiedener Linien (Tageswerte)



5 Flächenbedarf

Der Flächenbedarf öffentlicher Verkehrssysteme besteht aus verschiedenen Komponenten wie die Fläche für Haltestellen, Depotalagen sowie der eigentlichen Verkehrsfläche. In der vorliegenden Arbeit wird der Bedarf an Verkehrsfläche analysiert. Dieser besteht aus der Breite des geometrischen Normalprofils und der Länge der Strecke. Da die Länge der Strecke häufig durch die Linienführung gegeben ist, ist vor allem die Breite des Normalprofils entscheidend. Gewisse Ideen in diesem Kapitel entstammen der Fachliteratur (Hintermeister, 2002).

5.1 Eigentrassierung

5.1.1 Vollständige Eigentrassierung

Die vollständige Eigentrassierung ist die flächenintensivste Form der Linienführung. Sie kommt bei S-Bahn und U-Bahn durchgehend zur Anwendung. Bei Tram- und Buslinien ist die vollständige Linienführung zwar möglich, in der Realität jedoch selten anzutreffen.

5.1.2 Teilweise Eigentrassierung

Bei Tram und Bus kommt meist die partielle Eigentrassierung auf vom mIV stark belasteten Strecken zum Tragen. Als Anforderungskriterien zur Anwendung der Eigentrassierung können die Einsatzgrenzen des Mischverkehrs herangezogen werden. Siehe dazu folgendes Kapitel.

5.2 Reiner Mischverkehr

Reiner Mischverkehr bedeutet, dass sowohl der ÖV wie auch der mIV ohne regulierende Massnahmen auf derselben Fahrspur verkehren. Aufgrund der zum Teil hohen Geschwindigkeitsdifferenzen behindern sich dabei die verschiedenen Verkehrsarten.

Die Frage nach dem Einsatzbereich von Mischverkehr bzw. Busspuren lässt sich nicht generell beantworten. Die jeweiligen Einflüsse sind sehr vielseitig; es sollte dabei von Fall zu Fall entschieden werden.

Für die Beurteilung der Zweckmässigkeit von Mischverkehr bzw. von Busspuren sind verschiedene Betrachtungsweisen möglich. Sie unterscheiden sich zumeist in der betrachteten Zielgrösse:

Leistungsfähigkeit

Eine mögliche Betrachtungsweise ist die Analyse der Querschnittsleistungsfähigkeit. Wenn auf einer Busspur mehr Personen pro Zeiteinheit als auf einer mIV Fahrspur befördert werden können, kann die Einführung der Busspur zulasten einer mIV-Fahrspur sinnvoll sein. Die Gesamtleistungsfähigkeit des Querschnitts erhöht sich somit bei Errichtung der Busspur.

Reisegeschwindigkeit

Eine mögliche Betrachtung kann über die Reisegeschwindigkeit erfolgen. Durch die haltenden Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs an den Haltestellenkaps² erfährt der mIV einen Zeitverlust, welcher seine Reisegeschwindigkeit vermindert. Je nach Anzahl ÖV-Fahrzeuge und Verkehrsmenge des mIV ergeben sich unterschiedliche Auswirkungen auf den Verkehrsfluss des mIV. Gemäss (Hintermeister 2002, 10) kann von folgenden Grenzen des Mischverkehrs ausgegangen werden:

Tabelle 5 Belastungsgrenzen im Mischverkehr

Verkehrsmenge [Fz/h pro Richtung]	ÖV-Taktfolgezeit [min]
700-800	10-15
600-700	5
500-600	2

Personenreisezeit

Mittels einer anderen Zielgrösse lassen sich auch grundsätzlich andere Erkenntnisse gewinnen. Betrachtet man statt der Reisegeschwindigkeit des mIV die Personenreisezeit im Ge-

²Haltestelle ohne Überholmöglichkeit

samtsystem, so lässt sich folgende Überlegung anstellen: Die Haltestellenkaps führen zu einer Geschwindigkeitsangleichung der beiden Verkehrsarten. Betrachtet man den mIV stellt man fest, dass bei geringen Verkehrsmengen und damit generell höheren Geschwindigkeiten die Auswirkungen grösser sind als bei hohen Verkehrsmengen. Die Nachteile sind bei hohem Verkehrsaufkommen demnach geringer. Beim ÖV wirken die Haltestellenkaps bei hohen Verkehrsmengen stärker beschleunigend, als bei wenig Verkehr, da die Ausfahrt aus der Busbucht stärker behindert würde. So lässt sich feststellen, dass bei hohen Verkehrsmengen die Nachteile für den mIV geringer sind, die Vorteile für den ÖV hingegen grösser. Dies führt zur Schlussfolgerung, dass die Einführung von Haltestellenkaps im Mischverkehr erst ab (statt bis zu) einer gewissen Verkehrsmenge sinnvoll ist.

Nach dieser Theorie sind Haltestellenkaps bei einer hohen Verkehrsmenge angezeigt. Busbuchten sind folglich auf weniger belasteten Strecken anzuwenden.

Die Entscheidung über die Einführung von Haltestellenkaps bzw. Busbuchten sollte in der Praxis mit Simulationen des Verkehrsablaufs unterstützt werden.

5.3 Begleitende Massnahmen im Mischverkehr

Gegenüber dem reinen Mischverkehr besteht die Möglichkeit die Situation des ÖV im Mischverkehr mit gezielten Massnahmen zu verbessern. Dabei kann statt der örtlichen Trennung die zeitliche Trennung von mIV und ÖV angestrebt werden.

Dazu existieren verschiedene Methoden:

Vorrang an Knoten

Beim Vorrang an Knoten kann das öffentliche Verkehrsmittel die Grünzeit bei Anfahrt auf den Knotenpunkt anfordern. Sein Knotenast wird dann von der Signalsteuerung vorgezogen. Bei Haltestellen an Knoten besteht häufig eine vom mIV getrennte Haltestelle und das ÖV-Verkehrsmittel bekommt zeitlich vor dem gleichgerichteten mIV die Fahrerlaubnis.

Staumanagement

Das Staumanagement hat zum Ziel, Rückstau und Stockungen im Mischverkehrsbereich zu verhindern. Dabei sollen mittels elektronisch gesteuerten Lichtsignalanlagen die Rückstaus in vom öffentlichen Verkehr getrennte Bereiche verlagert werden. Dabei entstehen keine neuen Wartezeiten für den mIV, sie werden lediglich räumlich verschoben.

ÖV-Fahrzeug als Pulkführer

Bei der Pulkführung durch das öffentliche Verkehrsmittel soll die freie Fahrt des Trams oder des Busses gesichert werden. Wenn das Verkehrsmittel in den entsprechenden Bereich einfährt, soll dieser also vom mIV geräumt sein. Dies kann auf verschiedene Arten geschehen. Wenn die Haltestelle am Ausgang des Knoten angesiedelt ist, so wird während des Haltestellenaufenthalts des öffentlichen Verkehrsmittels der vor ihm liegende Bereich vom mIV geräumt. Oder es wird durch die Lichtsignalsteuerung die Einfahrt des mIV in den Mischverkehrsbereich während einer genügenden Zeit vor der Einfahrt des öffentlichen Verkehrsmittels verhindert. In beiden Fällen muss die Mischverkehrsstrecke genügend vor Störungen durch Einbieger aus Nebenstrassen oder Parkverkehr gesichert werden.

6 Erkenntnisse

6.1 Kapazität

Die Kapazitätsgrenze des Fahrzeugs ist ein Qualitätsmerkmal des öffentlichen Verkehrs und sollte als solche eingehalten werden. Vor allem dann, wenn es auf dem Konkurrenzverkehrsträger Strasse nicht zu Kapazitätsengpässen infolge Staus kommt. Überfüllte öffentliche Verkehrsmittel werden schliesslich niemanden zum Umsteigen bewegen. Zur totalen Anzahl Plätze zählen die Sitzplätze plus die Stehplatzfläche mit 3 Pers./m². Diese Werte liegen zum Teil weit unter den Herstellerangaben, sollten aber dennoch höchstens zu 80% ausgenützt werden. Die hier definierten Werte wurden für den Standardbus in der Praxis überprüft. Mit 3 Pers/m² war der Bus komplett gefüllt. Zudem steigen die Fahrgastwechselzeiten bei übermässiger Belegung stark an und verunmöglichen einen stabilen Betrieb.

6.2 Leistung

Bei der Angebotsplanung eines öffentlichen Verkehrsangebots im schweizerischen Agglomerationsverkehr kann aus den hier gemachten Berechnungen folgender Grundsatz hergeleitet werden:

Die Beförderungsleistung eines Verkehrsmittels sollte mindestens das Anderthalbfache der Nachfrage betragen, im regionalen Verkehr das Doppelte.

In Tabelle 6 sind die minimal und maximal möglichen Leistungen der verschiedenen Verkehrsmittel aufgeführt. Dabei wird von einem 19-Stunden Betrieb und ständiger Auslastung gemäss des höchsten bzw. des niedrigsten Komfortkriteriums ausgegangen.

Tabelle 6 Tagesleistungen verschiedener Verkehrsmittel

Verkehrsmittel	Minimale Leistung	Maximale Leistung
Standardbus	3'230	10'078
Gelenkbus	4'085	13'634
Tram 2000	4'750	30'529
Tram Cobra	9'120	35'272
S-Bahn Flirt	4'754	24'297
S-Bahn Doppelstock	13'235	101'471
U-Bahn Gross	5'776	249'717
U-Bahn Klein	15'808	563'901

Tabelle 7 zeigt die Stundenleistung der verschiedenen Verkehrsmittel pro Meter Lichtraumprofilbreite. Sie zeigt damit eine zum Flächenbedarf relative Leistungsfähigkeit.

Tabelle 7 Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit des Flächenbedarfs

Verkehrsmittel	Personen/h pro Meter Lichtraumprofilbreite
Standardbus	158
Gelenkbus	214
Tram 2000	595
Tram Cobra	688
S-Bahn Flirt	256
S-Bahn Doppelstock	1'068
U-Bahn Gross	2'629
U-Bahn Klein	5'936

6.3 Flächenbedarf

Bei der Gestaltung der Linienführung eines öffentlichen Verkehrsmittels stehen maximal 3 verschiedene, für den Flächenbedarf relevante Varianten zur Verfügung. Es sind dies die Eigentrassierung, der reine Mischverkehr oder der Mischverkehr mit begleitenden Massnahmen.

Eine vollständige Eigentrassierung kommt eigentlich nur bei S-Bahn und U-Bahn zum Tragen. Stadtbahnen weisen ebenfalls einen hohen Eigentrassierungsgrad auf. Bei Tram und Bus sind Eigentrassierungen meist nur bei gemeinsamen Streckenabschnitten von verschiedenen Linien anzutreffen. Der Einsatzbereich von Eigentrassierungen lässt sich nicht einfach quantifizieren. Es sind sehr viele situationsbedingte Aspekte zu beachten, wie etwa die Verkehrsmengen auf den Nebenstrassen, der Verkehrsablauf an den Knoten oder die Störungen durch Parkverkehr entlang der Strecke. Als ungefähre Richtwerte können die Einsatzgrenzen des Mischverkehrs gemäss Tabelle 5 werden.

Bei mehreren Fahrspuren kann eine Umnutzung einer mIV-Fahrspur in eine Busspur dann Sinn machen, wenn auf der Busspur mehr Personen pro Zeiteinheit als auf der mIV-Fahrspur befördert werden können.

Die Quantifizierung des Flächenbedarfs sollte je nach Art der Trassierung mit verschiedenen Messgrössen erfolgen. Bei der Eigentrassierung ist der Flächenbedarf durch die Breite des Lichtraumprofils (gemäss Tabelle 8) und die Streckenlänge definiert. Beim Mischverkehr wird die Fläche sowohl durch den ÖV wie auch den mIV beansprucht, es soll folglich eine Messgrösse zur Aufteilung der Benutzung definiert werden. Beim reinen Mischverkehr kann diese Messgrösse die Fahrzeug-Äquivalenz bedeuten, d.h. der Anteil an der Verkehrsmenge in PKW-Einheiten, wobei ein öffentliches Verkehrsmittel einer bestimmten Zahl von PKW-Einheiten entspricht. Bei Mischverkehr mit begleitenden Massnahmen könnte diese Messgrösse der Anteil der dem ÖV zur Verfügung stehenden Grünzeit an der gesamten Grünzeit sein. Der Flächenbedarf setzt sich dann aus dem Flächenanteil am Mischverkehr und der Fläche aus einer eventuellen Eigentrassierung zusammen.

Tabelle 8 Lichtraumprofilbreiten verschiedener Verkehrssysteme

Verkehrsmittel	Lichtraumprofil Breite [m]
Bus	3.35
Tram	2.70
S-Bahn	5.00
U-Bahn	5.00

Der Flächenbedarf des Verkehrs ist auch relevant für das Städtebild. Mit den Fotos in Abb. 9 soll das optische Erscheinungsbild von Eigentrassierung und Mischverkehr gezeigt werden.

Abbildung 8 Eigentrassierung- und Mischverkehrssituation



Die Fläche ist ein Gut, welches sowohl im innerstädtischen Bereich wie auch im Agglomerationsbereich nur begrenzt zur Verfügung steht. Deshalb sollte ein möglichst hoher Nutzungsgrad der Fläche angestrebt werden. Der öffentliche Verkehr erreicht mit seiner höheren Belegung pro Fahrzeug einen viel höheren Nutzungsgrad als der mIV. Dieser entscheidende Vorteil kann und soll als Argument zur Durchsetzung von Massnahmen zur wesensgerechten Behandlung des ÖV eingesetzt werden.

Die Eigentrassierung von Tram und Bus sollte nur selektiv angewendet werden und zwar dort, wo ein echter Nutzen für den stabilen Betrieb resultiert. Auch für die Betreiber von öffentlichen Verkehrslinien sollte nicht die Eigentrassierung im Vordergrund stehen, sondern ein stabiler und rascher Betrieb.

7 Ausblick

Diese Arbeit liefert einen kurzen Überblick über die Kapazitäten und Leistungen der verschiedenen Verkehrsmittel. Es wird eine systematische Analyse der Daten aufgezeigt. Die zur Verfügung stehende Datenmenge ist allerdings nicht sehr umfangreich. Deshalb sollten die Vergleiche von Angebot und Nachfrage mit Daten aus der Praxis auch auf die Verkehrsmittel S-Bahn und U-Bahn ausgeweitet werden. Die klare Definition der Kapazität und der Komfortkriterien kann bei der Diskussion von Angeboten im öffentlichen Agglomerationsverkehr als Grundlage dienen.

8 Dank

An dieser Stelle gebührt allen Dank die mich bei dieser Arbeit unterstützt haben. Es sind dies namentlich die Betreuer Prof. Dr. U. Weidmann und dipl. Ing. H. Schneebeili. Ebenfalls gebührt Dank den Verkehrsbetrieben Zürich für die zur Verfügung gestellten Daten.

9 Literatur

Hintermeister, O. (2002) *Mischverkehr MIV/ÖV auf stark befahrenen Strassen*, TEAMverkehr, Zürich

SBB, (1998) *Weisung über den Rollmaterialeinsatz im Regionalen Personenverkehr*

Weidmann, U. (2004) *Skript; MA2 Angebotskonzepte Agglomerations- und Stadtverkehr*, ETH Zürich, Zürich