

Einnahmenaufteilung in Verkehrsverbunden

Raphael Detig
Sascha Gilli

Betreuung:
Prof. Dr. Kay W. Axhausen
Basil Vitins

Bachelorarbeit
Studiengang Geomatik und Planung

Mai 2014

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

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Dank

Wir bedanken uns herzlich bei Professor Kay W. Axhausen, dass wir ein wissenschaftlich bis anhin kaum beachtetes Thema bearbeiten durften, was sich in grossen Freiheiten betreffend der Vorgehensweise äusserte und uns wertvolle Erfahrungen sammeln liess. Insbesondere gilt es seine kompetente Betreuung, die anregenden Diskussionen bei den Zwischenbesprechungen sowie die nützlichen Literatur- und Kontaktvorschläge zu würdigen.

Auch unserem Betreuer Basil Vitins gebührt ein grosses Dankeschön. Er fand stets Zeit, uns bei Problemen in Visum zu helfen und uns weiterführende theoretische Inhalte zu vermitteln. Wir schätzten seine interessanten und hilfreichen Inputs, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Des Weiteren wollen wir uns bei Professor Manfred Wermuth für seine ausführlichen Erklärungen bedanken. Seine fachkundigen Erläuterungen und die uns zur Verfügung gestellten Quellen halfen uns sehr bei der Auseinandersetzung mit dem komplexen Thema der Einnahmenaufteilung.

Schliesslich danken wir allen Verbunden, die uns Einblick in ihre Erlöszuscheidungsmethodik gewährt haben.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Einnahmenaufteilung: Theorie.....	4
2.1	Notwendigkeit der Einnahmenaufteilung	4
2.2	«Gerechtigkeit» der Einnahmenverteilung	6
2.3	Grundlegende Arten der Einnahmenverteilung	14
2.4	Datenerfassung	22
2.5	Konkrete Anwendungen in Deutschland und der Schweiz.....	25
2.6	Fazit	30
3	Entwicklung eines neuen Ansatzes	32
3.1	Erreichbarkeit.....	32
3.2	Testumgebung in PTV Visum	37
3.3	Berechnungen im Zürcher Modell	53
3.4	Zusammenhang zwischen Nachfrage und Erreichbarkeit	60
4	Schlussfolgerungen.....	64
4.1	Fazit	64
4.2	Reflexion	65
5	Literatur.....	67

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Interessen der im Rahmen eines Verbundes beteiligten Akteure.....	8
Tabelle 2	Nachfrageorientierte Erhebungsverfahren, getrennt nach Fremd- und Gesamtnutzern, nach Wermuth (2007).....	17
Tabelle 3	Folgende Parameter charakterisieren die Testumgebung.....	39
Tabelle 4	Bei Anwendung der beiden Varianten ergeben sich unterschiedliche Erlöszuscheidungen je Linie.	43
Tabelle 5	Einnahmenaufteilung in Abhängigkeit des Beta-Parameters.	45
Tabelle 6	Beta-Parameter nach Vrtic und Fröhlich (2006).....	46
Tabelle 7	Vergleich der Erlöszuscheidungen zwischen Referenzzustand und aufgeteilten generalisierten Kosten.....	47
Tabelle 8	Vergleich der Erlöszuscheidungen zwischen Referenzzustand und Einführung einer Regioexpress-Linie.....	49
Tabelle 9	Vergleich der Erlöszuscheidungen zwischen Referenzzustand und Einführung einer Konkurrenzlinie.....	50
Tabelle 10	Vergleich der Einnahmenverteilung bei Einführung einer unerwünschten Konkurrenzlinie.....	52
Tabelle 11	Gesamteinnahmen der in der Testumgebung untersuchten Zustände mit Schlussfolgerung der Einnahmenbeiträge der einzelnen Linien.....	62

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	a. Abgesehen von wenigen weiss markierten Gebieten ist praktisch ganz Deutschland von Verbunden abgedeckt. b. Ähnlich sieht die Situation in der Schweiz aus: Verbundlose Gebiete sind lediglich im Gebirge (Alpen und Jura) zu finden.....	5
Abbildung 2	Beispiele von Verbundtickets.....	6
Abbildung 3	Probleme beim Erhebungs- und Bewertungsverfahren der Einnahmenverteilung nach Wermuth (2007).....	10
Abbildung 4	Probleme bei der Einnahmenverteilung zwischen einem Stadt- und einem Überlandverkehrsunternehmen; für Details s. Text.	12
Abbildung 5	Beispiel einer Erlösrechnung.	19
Abbildung 6	Erfassungsmaske bei der Frequenzerfassung der an der HOP beteiligten schweizerischen Bahnunternehmen.	23
Abbildung 7	Erreichbarkeit als Funktion der generalisierten Kosten (Anzahl Aktivitätsgelegenheiten = konstant)	34
Abbildung 8	Illustration zu den im Beispiel beschriebenen Situationen.....	35
Abbildung 9	Dieses in PTV Visum implementierte Liniennetz bildete die Grundlage unseres Testnetzes.	39
Abbildung 10	Resultat der Basisuntersuchung ohne Berücksichtigung der Eigenerreichbarkeit sowie ohne Einbezug der In-Funktion.....	41
Abbildung 11	Resultat der Basisuntersuchung mit Berücksichtigung der Eigenerreichbarkeit sowie ohne Einbezug der In-Funktion.....	43
Abbildung 12	Wird die Linie S5 inaktiv gesetzt, entstehen zwei voneinander isolierte Liniennetze.....	48
Abbildung 13	Liniennetz mit Regioexpress.....	49
Abbildung 14	Liniennetz mit zusätzlicher S-Bahn.....	51
Abbildung 15	Nach Inaktivsetzen der S5 ändert sich die Erreichbarkeit in den Bezirken praktisch nicht, wenn die S15 jeweils eine Minute vor der S5 abfährt.	53

Abbildung 16 ÖV-Erreichbarkeit im Zürcher Modell ohne Berücksichtigung des In mit linearen Klassen.....56

Abbildung 17 ÖV-Erreichbarkeit im Zürcher Modell ohne Berücksichtigung des In, Ausschnitt mit Stadt Zürich und Umgebung.....57

Abbildung 18 ÖV-Erreichbarkeit im Zürcher Modell nach klassischer Erreichbarkeitsformel mit linearen Klassen.....58

Abbildung 19 ÖV-Erreichbarkeit im Zürcher Modell nach klassischer Erreichbarkeitsformel mit Klassen nach natural breaks.....59

Abbildung 20 Mit zunehmender Erreichbarkeit steigt die Nachfrage aufgrund des abnehmenden Grenznutzens immer weniger an.....60

Abkürzungen

GA	Generalabonnement der Schweiz
HOP	Hochrechnung der Erlöse im Personenverkehr in der Schweiz
LV	Langsamverkehr
MIV	Motorisierter Individualverkehr
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PVG	Gesetz über den öffentlichen Personenverkehr
RE	Regioexpress
SBB	Schweizerische Bundesbahnen
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
VÖV	Verband öffentlicher Verkehr
VU	Verkehrsunternehmen

Bachelorarbeit Studiengang Geomatik und Planung

Einnahmenaufteilung in Verkehrsverbunden

Raphael Detig

Sascha Gilli

Dietlikerstrasse 67
8302 Kloten

Bahnhofstrasse 29a
8157 Dielsdorf

Telefon: 051 282 89 16
detigr@student.ethz.ch

Telefon: 044 853 30 52
sgilli@student.ethz.ch

Mai 2014

Kurzfassung

In dieser Arbeit zeigen wir auf, warum Einnahmenverteilung in Verbunden gemacht wird und welche Interessen, Akteure sowie Grundprinzipien es dabei zu berücksichtigen gilt. Im Weiteren illustrieren wir, welche Verteilungsverfahren zurzeit in Verwendung sind und zeigen Beispiele, wo sie verwendet werden.

Im praktischen Teil dieser Arbeit verfolgen wir das Ziel, die Erreichbarkeit als neuen Parameter in die Einnahmenaufteilung einzubeziehen. Wir entwickeln dazu einen neuen Berechnungsansatz, den wir in einer selbst implementierten Testumgebung im Verkehrsplanungsprogramm PTV Visum auf seine Tauglichkeit überprüfen. Danach übertragen wir diesen Ansatz ins Gesamtverkehrsmodell des Kantons Zürich und erweitern unsere Untersuchung, indem wir den Zusammenhang zwischen Nachfrage und Erreichbarkeit in unser Berechnungsverfahren integrieren.

Schlagworte

Einnahmenaufteilung; Erreichbarkeit; Linienerreichbarkeit; Verkehrsverbund; Tarifverbund

Zitierungsvorschlag

Detig, R. und S. Gilli (2014)

Einnahmenaufteilung in Verkehrsverbunden, *Bachelorarbeit Studiengang Geomatik und Planung*, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich

1 Einleitung

Wer hätte gedacht, wie gross der Berechnungsaufwand ist, der hinter einem einfachen Fahrscheinkauf steckt. Obwohl die Verfasser dieser Arbeit durch ihre Nebenerwerbstätigkeit bei den Schweizerischen Bundesbahnen ziemlich vertraut sind mit dem vielfältigen Fahrscheinsortiment und den Gegebenheiten, die dem zonalen Aufbau eines Verbundes entspringen, waren sie doch überrascht, wie unterschiedlich die Einnahmen aus Fahrscheinverkäufen an die teilnehmenden Verkehrsunternehmen eines Verbundes aufgeteilt werden. Die Vielfalt an Verteilungsverfahren in Verbunden ist fast so gross wie deren Fahrscheinsortiment, und das will etwas bedeuten!

Als Frequenzerfasser für das Erhebungsverfahren von Personenkilometern und Fahrausweisquerschnitt bedacht, interessierten wir uns dafür, was weiter mit den erhobenen Daten geschieht. Wir bewarben uns deshalb bei Prof. Axhausen für diese Bachelorarbeit, die es zum Ziel hat, einerseits eine Übersicht anzufertigen über die aktuell angewandten Aufteilungsverfahren im deutschsprachigen Raum und andererseits einen neuen Ansatz zu entwickeln, der die Einnahmen eines Verbunds aufgrund eines Erreichbarkeitsbeitrags an die teilhabenden Unternehmen aufteilt.

Für die Übersicht, die Sie unter Kapitel 2 finden, griffen wir auf bestehende Literatur zurück, schrieben aber auch diverse Verbunde in der Schweiz und in Deutschland an, um aus erster Hand Informationen zu den Verteilungsverfahren zu gewinnen. Ebenfalls in Kapitel 2 beschreiben wir kurz aus unserem eigenen Erfahrungsschatz, wie das Kundenbefragungsverfahren zur Datengewinnung der Schweizer Bahnen abläuft.

In Kapitel 3 erläutern wir zuerst den Begriff der «Erreichbarkeit» und entwickeln dann den Ansatz der «Linienreichbarkeit». Um den Ansatz ausgiebig zu erproben, entwarfen wir in PTV Visum eine Testumgebung und loteten dann anhand verschiedener Untersuchungen die Grenzen der Anwendbarkeit aus. Überdies berechneten wir im Gesamtverkehrsmodell des Kantons Zürich die Erreichbarkeiten der Bezirke. Am Kapitelende gehen wir noch auf den Zusammenhang von Nachfrage und Erreichbarkeit ein.

Die Schlussfolgerungen und eine kritische Reflexion finden Sie in Kapitel 4.

2 Einnahmenaufteilung: Theorie

Warum ist eine Einnahmenverteilung in Verbunden überhaupt notwendig? Nach welchen Grundprinzipien sollte sie erfolgen, welche Probleme können dabei auftreten? Nach Analyse dieser Fragen wollen wir in diesem Kapitel aufzeigen, welche Ansätze in der Praxis anhand konkreter Beispiele von verschiedenen Verbunden zurzeit in der Schweiz sowie in Deutschland angewendet werden. Grundlagen dazu bilden die Auswertung bestehender Literatur sowie Anfragen an entsprechende Verbunde und Experten.

2.1 Notwendigkeit der Einnahmenaufteilung

Immer mehr Transportunternehmen schliessen sich in Verkehrs- und Tarifverbunden zusammen (s. Abbildung 1), um gemeinsam mit einem einheitlichen Ticketsystem attraktive Angebote im ÖV zu vertreiben und sich Marktanteile gegenüber dem MIV zu sichern. Mit ihrem Verbundfahrausweis ist es den Fahrgästen freigestellt, mit welchem Unternehmen und welchem Verkehrsmittel sie innerhalb der räumlichen und temporalen Gültigkeit ihres Fahrausweises reisen. Im Gegensatz zu Fahrausweisen des direkten Verkehrs ist der Fahrweg nicht ersichtlich. Des Weiteren dürfen je nach Angebot beliebig viele Fahrten unternommen werden, auch Teilfahrten, welche nicht den gesamten Gültigkeitsbereich des Fahrausweises abdecken. Die Fahrgäste wählen zwischen einem vielfältigen Ticketangebot aus, das je nach Verbund vom Einzelticket bis zu Dauerfahrkarten wie Monats- und Jahreskarten reichen kann (s. Abbildung 2). Aus der unterschiedlichen Verwendung dieser Fahrscheinarten resultiert für jeden Benutzer ein anderer Fahrpreis pro Transporteinheit.

Abbildung 1 a. Abgesehen von wenigen weiss markierten Gebieten ist praktisch ganz Deutschland von Verbunden abgedeckt.
 b. Ähnlich sieht die Situation in der Schweiz aus: Verbundlose Gebiete sind lediglich im Gebirge (Alpen und Jura) zu finden.

a. Verkehrs- und Tarifverbände in Deutschland



b.

Tarifverbände der Schweiz



Quelle: Wikimedia Commons, Karte der Verkehrsverbunde und Tarifverbunde in Deutschland (April 2014), Karte der Tarifverbunde in der Schweiz (April 2014); Grafiken von Maximilian Dörrbecker, Stand 2012.

Um den Fahrpreis der Tickets direkt den im Verbund beteiligten Transportunternehmen zuzuordnen, wäre somit ein immenser Aufwand notwendig: Jedes gekaufte Ticket müsste rund um die Uhr verfolgt werden, bei welchem Unternehmen, in welchem Fahrzeug und auf welchem Linienabschnitt es verwendet wird. Dies wäre einerseits unverhältnismässig teuer, andererseits bestehen auch Bedenken bezüglich Datenschutz und Privatsphäre.

Somit müssen Ansätze gefunden werden, um die Einnahmenverteilung mit einem vernünftigen Aufwand, aber trotzdem für alle beteiligten Unternehmen angemessen, durchführen zu können.

Abbildung 2 Beispiele von Verbundtickets.



2.2 «Gerechtigkeit» der Einnahmenverteilung

Zurzeit sind diverseste Ansätze in Gebrauch, hinter denen mannigfaltigste Prinzipien stecken können: Zum Teil soll der Profit der Unternehmen nicht schlechter sein, als wenn der Verbund gar nicht bestehen würde. Fast immer werden Besonderheiten des Verbunds miteinbezogen. Nachdem vielerorts die Angebotsplanung im ÖV zu einer öffentlichen Aufgabe geworden ist, bestimmt fortan die örtliche Politik als Auftraggeber das Angebot. Verkehrsunternehmen werden dadurch von der Angebotsplanung und somit von einem wesentlichen Teil ihres Betriebsrisikos entlastet. Um trotzdem weiterhin auf den Kunden abgestimmtes Verhalten zu fördern, wird gewünschtes Verhalten teilweise ebenfalls in der Einnahmenverteilung abgebildet.

Manchmal geschieht die Einnahmenverteilung angebotsorientiert, das heisst auf Basis der Anzahl Fahrplanfahrten und Sitzplätze. Immer öfters wird sie nachfrageorientiert durchgeführt: Mithilfe von automatischen Fahrgastzählssystemen, Befragungen und Fahrausweisquerschnitterhebungen werden Daten erfasst, die als Basis für die Aufteilung dienen. Schliesslich kann die Einnahmenverteilung auch «nur» aufgrund bilateraler Abkommen zwischen Verbund und Einzelunternehmen getätigt werden.

Doch welches Verfahren ist nun das beste? Welche Parameter müssen berücksichtigt werden, um das Verfahren möglichst «gerecht» durchzuführen? Wie ist «Gerechtigkeit» im Kontext der Einnahmenverteilung überhaupt zu verstehen? – Je nach den im Verbund enthaltenen sozioökonomischen, raumplanerischen und strukturellen Charakteristiken und je nach beteiligten Akteuren werden diese Fragen ganz anders beantwortet. Deshalb ist bis heute noch kein allgemein gültiges Patentrezept für eine global anwendbare optimale Einnahmenverteilung gefunden worden und wird wohl aufgrund der enormen Variation der erwähnten Charakteristiken in jedem Verbund auch niemals gefunden werden können.

Trotzdem können aus wissenschaftlicher Sicht logische Argumente für oder gegen bestimmte Arten der Einnahmenaufteilung gefunden werden. Wir versuchen uns der Thematik zu nähern, indem wir zuerst beteiligte Akteure und Interessen evaluieren, anschliessend notwendige Grundprinzipien bei der Einnahmenverteilung herleiten sowie auf daraus resultierende Zielkonflikte eingehen.

2.2.1 Akteure und Interessen

Hinter einem Verbund steckt ein öffentliches Interesse nach einem attraktiven, unkomplizierten ÖV-Angebot in einem bestimmten Perimeter. Dieses Interesse wird von den zuständigen politischen Ebenen aufgenommen, indem Grundsätze zur Entwicklung eines entsprechenden Angebots bestimmt und finanzielle Mittel dafür zur Verfügung gestellt werden. Optimalerweise werden die Bedürfnisse von Regionen, Gemeinden und Bevölkerung, aber auch von den Verkehrsunternehmen in die Planung miteinbezogen sowie die politischen Instanzen in die Verbundgestaltung und Finanzierung gemäss dem Subsidiaritätsprinzip partizipiert. Tabelle 1 verdeutlicht die grundsätzlichen Interessen der beteiligten Akteure.

Tabelle 1 Interessen der im Rahmen eines Verbundes beteiligten Akteure.

Akteur	Interessen
Politik	<ul style="list-style-type: none"> • Effiziente Allokation und Verwendung der zur Verfügung gestellten finanziellen Mitteln • Angebot entsprechend der eingeschlagenen Verkehrspolitik und Raumplanung • Möglichst hoher Kostendeckungsgrad des Verbundes (hohe Wirtschaftlichkeit)
Beteiligte Städte und Gemeinden	<ul style="list-style-type: none"> • Zum MIV und LV konkurrenzfähiges ÖV-Angebot (Standortvorteil) • Transportmöglichkeiten für besondere Bevölkerungsgruppen (Schüler, Rentner, usw.) • Möglichst wenig finanzielle Ausgaben für ein möglichst optimales Angebot
Verbund als Zweckverband	<ul style="list-style-type: none"> • Kundenorientiertes, abgestimmtes Netz mit vielen kooperierenden Verkehrsunternehmen • Einheitliche Angebotsstandards, insbesondere Tarifierung • Adäquate Infrastruktur und gesicherte Finanzierung durch Einnahmen und Subventionen
Verkehrsunternehmen	<ul style="list-style-type: none"> • Dauerhafter Beförderungsauftrag durch Verbund • Faire, möglichst hohe Entlohnung für angebotenen Service (mindestens gleich hoch, wie wenn der Verbund nicht existieren würde)
Kunden (Fahrgäste)	<ul style="list-style-type: none"> • Maximale Netzabdeckung des Gebiets (optimale Zugänglichkeit) • Möglichst günstige, komfortable, unkomplizierte und schnelle Beförderung vom Start- zum Zielort (hohe Erreichbarkeit) • Einfaches, einheitliches Tarifsysteem

Die Einnahmenaufteilung bewegt sich im Spannungsfeld dieses Interessensgeflechts. Sie soll die von politischer Seite geforderten Ziele berücksichtigen, möglichst einfach und kostengünstig durchführbar sein und gleichzeitig alle beteiligten Verkehrsunternehmen angemessen entschädigen. Einerseits wird die Berücksichtigung von Effizienz und Wirtschaftlichkeit gefordert, andererseits muss die Einnahmenverteilung auch faire Vergütungen für die Gewährleistung des rein marktwirtschaftlich nicht legitimierbaren «Service public» berücksichtigen, konkret für die Erschliessung von kleineren Ortschaften, für Schülertransporte und Tourismusangebote. Schliesslich sollen auch Anreize für eine kundenfreundliche Gestaltung, zum

Beispiel in Form von komfortablen Fahrzeugen, behindertengerechten Haltestellen oder innovativen Kundeninformationssystemen, miteinbezogen werden.

2.2.2 Grundprinzipien

Gemäss Wermuth (2007) soll ein Einnahmenverteilungsverfahren in erster Linie nachfragebezogen, tariforientiert und leistungsgerecht sein. Das klingt logisch, sollen doch gut ausgelastete Linien, längere Fahrten und ein attraktives, dichtes Angebot zu Mehreinnahmen des anbietenden Unternehmens führen. Ferner gilt es nach Kossak (1999 und 2001) folgende Faktoren zu berücksichtigen:

- **Verbundgedanke:** Die beteiligten Verkehrsunternehmen eines Verbundes arbeiten zusammen mit dem Ziel, gemeinsam ein gegenüber dem MIV konkurrenzfähiges und für alle Beteiligten rentables Nahverkehrssystem zu betreiben.
- **Zielsetzungen des Verbunds:** Die Einnahmenverteilung soll Verbundpartnern Anreize geben, effizient zu arbeiten, ein qualitativ hochwertiges Angebot zu vertreiben und weitere spezifische Verbundziele zu erfüllen. Trotz Verbundgedanke soll weiterhin ein gewisses Betriebsrisiko abgebildet werden, um Innovation und Unternehmertum zu fördern. So soll eine möglichst grosse Fahrgastnachfrage erreicht werden.
- **Verschiedenste Rahmenbedingungen:** Innerhalb des Verbundgebietes variieren sozioökonomische und raumplanerische Faktoren stark, was in differierenden Bedürfnissen der Benutzer je Teilgebiet des Verbunds resultiert.
- **Standardisierter Tarif:** Der Transport erfolgt mit einer einheitlichen Tarifstruktur und unter von allen Unternehmen einzuhaltenden Angebotsstandards.
- **Teilpoolung:** Nur im Binnenverkehr eines Unternehmens entstehende Einnahmen sollen wenn möglich nicht in die Verteilung, sondern direkt zum Unternehmen fließen. Die restlichen Einnahmen werden nach Ticketkategorien in verschiedenen Pools (z. B. Einzelfahrscheine, Dauerfahrkarten, Kurzstreckentickets, usw.) gebündelt und anschliessend nach spezifischen Verteilschlüsseln je Pool entrichtet.
- **Transparenz:** Einnahmenverteilungsverfahren sollen einfach, kostengünstig und zeitnah durchführbar sowie nachvollziehbar sein.
- **Alteinnahmensicherung:** Der Beitritt eines Verkehrsunternehmens in den Verbund kann entweder zu einer Ab- oder Zunahme von dessen Profit führen. Nimmt der Profit ab, ist ein Unternehmen kaum gewillt, rein aus Solidarität dem Verbund beizutreten. Deshalb wird nach Verbundsgründung, bzw. nach Beitreten von weiteren Unternehmen bei der Einnahmenverteilung sichergestellt, dass betroffene Unternehmen mindestens gleich hohe Einnahmen erhalten wie vor Verbundsgründung, bzw. vor dem Beitritt zum Verbund.

Diese Aufzählung ist nicht abschliessend. Sie soll lediglich die enorme Bandbreite an Parametern andeuten, die in eine Einnahmenverteilung einspielen müssen, um die Interessen aller Akteure zu berücksichtigen. Es ist klar, dass alleine schon erwähnte Grundprinzipien zu Ziel-

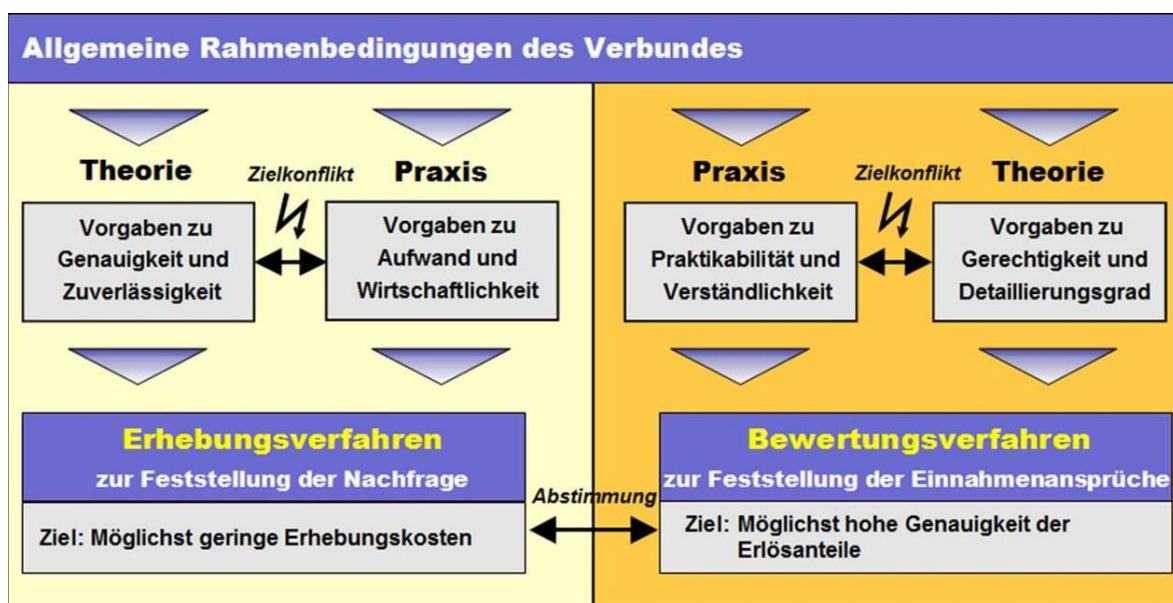
konflikten führen, die eine von allen Beteiligten als «gerecht» empfundene Einnahmenverteilung verunmöglichen. Auf grundsätzliche Probleme wollen wir im folgenden Kapitel eingehen.

2.2.3 Probleme

Ein klassischer Zielkonflikt besteht zwischen der Einfachheit der Durchführung und der Genauigkeit des Verfahrens, da höhere Genauigkeit nur durch höhere Kosten erkaufte werden kann. Der Aufbau sowie die Grösse der Verbunde impliziert Unterschiede in der Grösse des Aufwands, der zu einem von allen Seiten akzeptierten Ergebnis der Einnahmenaufteilung führt. Deshalb gibt es kein Standardverfahren, sondern alle Verbunde müssen sich um eigene Lösungen bemühen.

Um einen genaueren Verteilschlüssel zu erhalten, müssen auch genügend genaue Grundlegendaten zur Verfügung stehen. Oftmals sind diese in der geforderten Qualität noch nicht vorhanden und müssen mit grossem Aufwand erhoben werden.

Abbildung 3 Probleme beim Erhebungs- und Bewertungsverfahren der Einnahmenverteilung nach Wermuth (2007).



Quelle: Wermuth (2007), Folie 5

Wie in Abbildung 3 ersichtlich wird, existiert auch ein grundlegendes Problem beim Bewertungsverfahren der Einnahmenverteilung: Einerseits soll das Verfahren möglichst «gerecht»

sein, also von allen beteiligten Verkehrsunternehmen als fair empfunden werden, andererseits gilt es dazu unzählige Faktoren und Parameter zu berücksichtigen, die das Verfahren extrem kompliziert, somit teuer und praxisuntauglich machen. Auch hier gilt es, in jedem Verbund eine Kompromisslösung zwischen Detaillierungsgrad und Verständlichkeit der Methode zu finden.

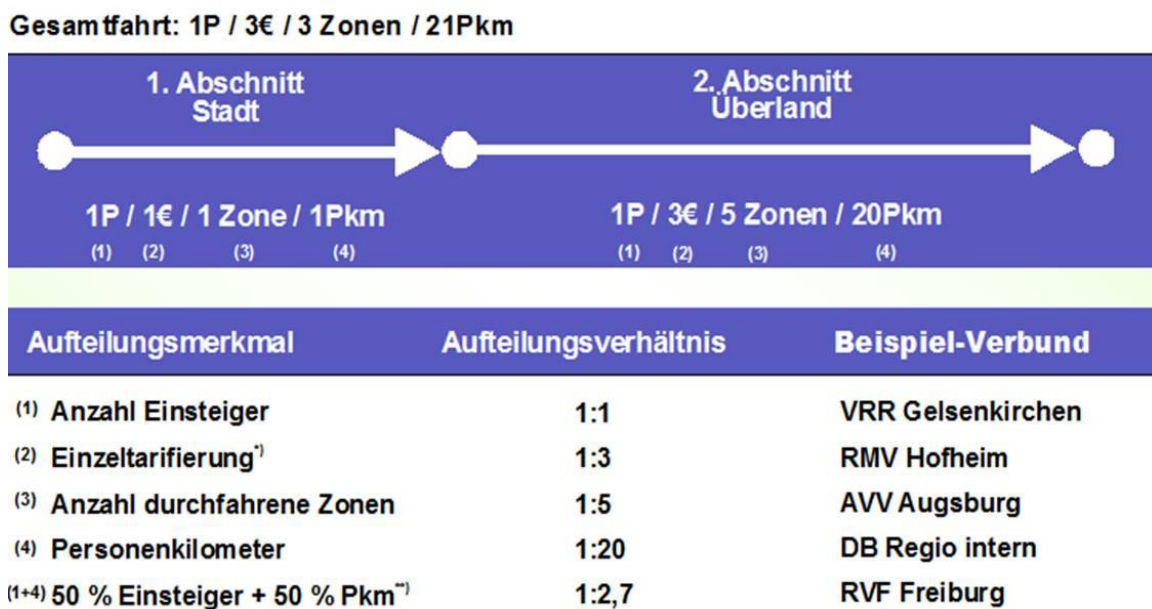
Doch warum müssen für eine optimale Einnahmenverteilung überhaupt unzählige Parameter berücksichtigt werden? Hierzu gibt es mehrere Gründe:

Als erstes gilt es sozioökonomische Faktoren zu nennen. Jeder Verbund, gar jedes Teilgebiet eines Verbundes, ist durch eine unterschiedliche Gesellschaftsstruktur mit variierendem Einkommen, Eigentum, Beruf, Bildungsabschluss und kultureller Auffassung geprägt. Diese Faktoren beeinflussen das Mobilitätsverhalten, die Reiseweite sowie Reisegeschwindigkeit, eines jeden Bürgers. Somit schwankt die Nachfrage nach einem attraktiven ÖV-Angebot in jeder Teilregion. Die Verkehrsunternehmen müssen somit ihr Angebot auf den sozioökonomischen Querschnitt in ihrer Tätigkeitsregion anpassen, um mit den bestehenden Mitteln möglichst viele Fahrgäste für den ÖV gewinnen zu können. Entsprechend variiert auf Angebotsseite die Anzahl Haltestellen, die Verkehrsmittelart, der Fahrplan, die eingesetzten Fahrzeugtypen und die Qualität des Angebots, also die gesamte Kostenstruktur jedes Verbundpartners. Werden bei der Einnahmenverteilung sozioökonomische Faktoren hingegen nicht berücksichtigt, besteht kaum Anreiz für die Verkehrsunternehmen, ihr Angebot an die potentiellen Kunden anzupassen. Doch selbst wenn diese Faktoren miteinbezogen werden, bleibt die Frage offen, wie all diese Rahmenbedingungen angemessen modelliert werden können – auch hier besteht ein Erhebungs- und Bewertungsproblem.

Ähnlich lässt sich mit raumplanerischen Faktoren argumentieren: Diese variieren ebenfalls in jeder Teilregion und besitzen Einfluss auf das Mobilitätsverhalten ihrer Bewohner. Einerseits ist der Verkehr stark von der Zonierung abhängig: Von Wohn- zu Gewerbe- und Industriezonen besteht werktags morgens und abends zu den Hauptverkehrszeiten die grösste Nachfrage, zu Freizeitzone hingegen steigt die Verkehrsnachfrage am Wochenende. Mischnutzungen können den Verkehr minimieren, wenn die Leute unweit ihres Arbeitsortes wohnen und nur einen kurzen Pendelweg zurücklegen müssen. Andererseits spielt insbesondere im ÖV die Ausnutzungsziffer, bzw. die Verdichtung von Siedlungen eine Rolle: In ländlichen Gebieten lässt sich aufgrund der geringen Bevölkerungsdichte und dementsprechend tiefer Nachfrage schwierig ein rentables ÖV-Netz realisieren, im urbanen Umfeld stellt dies kaum ein Problem dar. Da sich praktisch alle Verbunde nicht nur auf städtisches Gebiet begrenzen, sondern bis in ländlich geprägtes Gebiet reichen, sind diesbezüglich die Verkehrsunternehmen in der Stadt mit ganz anderen Herausforderungen beschäftigt als diejenigen in der Agglomeration

oder auf dem Land. Auch die Einnahmenverteilung ist von den strukturellen Unterschieden ganz konkret betroffen, wie folgendes Beispiel aus Wermuth (2007) zeigt.

Abbildung 4 Probleme bei der Einnahmenverteilung zwischen einem Stadt- und einem Überlandverkehrsunternehmen; für Details s. Text.



Quelle: Wermuth (2007), Folie 15

In Abbildung 4 wird angenommen, dass eine Person eine Strecke von 21 Personenkilometern mit zwei Verkehrsmitteln zurücklegt. Die Strecke teilt sich in einen kurzen, nur einen Personenkilometer langen Fahrtabschnitt mit einem städtischen Verkehrsunternehmen sowie eine längere Fahrt über 20 Personenkilometer mit einem Überland-Verkehrsbetrieb. Die Person kauft dazu ein Einzelticket für 3€. Das Aufteilungsverhältnis beschreibt nun, welche Anteile dieses Fahrausweispreises die entsprechenden Verkehrsunternehmen erhalten. Geschieht die Einnahmenverteilung allein aufgrund von Fahrgastzählungen, so resultiert ein Verhältnis von 1:1, beide Unternehmen erhalten je 1.50€ der Ticketeinnahmen. Basiert die Verteilung auf der Einzeltarifierung, ändert sich das Verhältnis bereits zu 1:3, denn die alleinige Überlandfahrt vom Umstiegsort bis zur Zieldestination wäre dreimal teurer als die Fahrt in der Stadt ohne Fortsetzung. Beide Unternehmen haben bei diesem Aufteilungsmerkmal also gleich hohe Durchtarifizierungsverluste zu tragen, welche aufgrund der degressiven Tarifgestaltung (längere Fahrten werden immer günstiger) resultieren. Schliesslich kann die Einnahmenverteilung auch aufgrund der Anzahl durchfahrener Zonen, der Anzahl Personenkilometer oder einer gewichteten Kombination aus Anzahl Einsteiger und Personenkilometer durchgeführt wer-

den. Die Aufteilungsverhältnisse leiten sich entsprechend der Streckencharakteristik ab und sind in Abbildung 4 anschaulich dargestellt.

Doch welche dieser Methoden ist jetzt die sinnvollste? Das städtische Unternehmen würde behaupten, die Einsteigervariante sei am besten, das Überlandunternehmen würde sich für die Personenkilometervariante aussprechen. Ob das städtische Unternehmen nun 0.14€ oder 1.50€ pro Fahrt mit einem Einzelticket erhält, ist ein grosser Unterschied und beeinflusst die wirtschaftliche Lage der Unternehmen massiv. Umso erstaunlicher ist es, dass alle beschriebenen Methoden zurzeit in Gebrauch sind, wie in der Spalte Beispiel-Verbund ersichtlich wird.

Auch das Tarifsystem an sich führt zu Herausforderungen bei der Einnahmenverteilung: Aus den sozioökonomischen und raumplanerischen Rahmenbedingungen resultieren verschiedenartige Kostenstrukturen der beteiligten Verkehrsunternehmen. Trotzdem erfolgt der Transport in einem Verbund unter einheitlichem Tarif. Die Preisgestaltung wird also *nicht* durch Angebot und Nachfrage gesteuert, was im Vergleich zu einem streng marktwirtschaftlichen System zu Mehr- oder Mindereinnahmen bei allen Verkehrsunternehmen führt.

Kommt hinzu, dass bereits der Aufbau der Basis-Tarifstruktur in jedem Verbund völlig anders ist. Theoretisch kann diese von einem Einheitspreis unabhängig der Streckenlänge über degressive Tarifsysteme bis hin zu einem linear nach Distanz steigenden Tarif (und im Extremfall gar zu einem progressiven, also nach zunehmender Distanz überproportional steigenden Preis) reichen. Ausserdem vertreibt praktisch jeder Verbund speziell günstige Angebote, zum Beispiel Semesterkarten für Schüler, ermässigte Fahrausweise für Rentner oder zeitlich begrenzte Angebote, wie eine 9-Uhr-Tageskarte. In Anbetracht des grossen Tarifsortiments bezahlt somit jeder Fahrgast einen unterschiedlichen Preis pro Fahrt, bzw. pro Personenkilometer.

All diese Tarifierungseffekte mithilfe der Einnahmenverteilung auszugleichen, dürfte unmöglich sein. Um zumindest den Effekt der unterschiedlichen Nutzungspreise ausgleichen zu können, führen viele Verbunde Fahrausweisquerschnittserfassungen durch, um die Einnahmenverteilung getrennt nach Gesamteinnahmen einer jeden Ticketart durchführen zu können.

Schliesslich führt der Verbundgedanke an sich zu Problemen, denn er schwächt gewissermassen marktwirtschaftliche Prinzipien wie den Wettbewerbs- und Konkurrenzgedanken zugunsten eines sozialen, ausgleichenden Systems. Um dieses System zu tragen, müssen die beteiligten Verkehrsunternehmen zu Zugeständnissen bereit sein, auch wenn diese Zugeständnisse finanzielle Einbussen zur Folge haben können. Die Situation erinnert an das Gefangenendi-

lemma, bei dem das Optimum nur durch Kooperation und Vertrauen in alle Partner erreicht werden kann.

Ein unter den Verbundgedanken fallendes Problem ist beispielsweise die Alteinnahmensicherung. Diese sollte nach Beitritt eines Unternehmens zum Verbund Schritt um Schritt gemindert und schliesslich aufgehoben werden, um die in der Vergangenheit gültigen Regelungen nicht in die Einnahmenverteilung der neuen Verbundstruktur zu übernehmen.

2.3 Grundlegende Arten der Einnahmenverteilung

Wie werden nun die bisher theoretisch betrachteten Aspekte und Probleme in konkreten Einnahmenverteilungsarten berücksichtigt? In diesem Kapitel illustrieren wir Grundzüge der in der Praxis angewandten Verfahren, nämlich der angebots- sowie nachfrageorientierten Einnahmenverteilung. Des Weiteren sollen Alternativen dazu, bilaterale Abkommen sowie die Aufteilung auf Basis relationsbezogener Verkaufsdaten, vorgestellt werden.

2.3.1 Angebotsorientierte Einnahmenverteilung

In der angebotsorientierten Einnahmenverteilung werden Verkehrsunternehmen abhängig ihrer Betriebsleistung entlohnt. Die Verteilung geschieht somit leistungsorientiert, also unabhängig des Marktgeschehens sowie des Kundenverhaltens. Es werden dazu Parameter gewählt, welche die betrieblichen Verhältnisse des Unternehmens abbilden. Dazu gehören Quantität und Kosten des Verkehrsangebots. Auch systemspezifische Unterschiede, wie sie zum Beispiel zwischen ländlichem Raum und Ballungszentren auftreten, können berücksichtigt werden. Eine Auswahl möglicher Indikatoren, die bei der angebotsorientierten Einnahmenverteilung miteinbezogen werden können, zeigt folgende Aufzählung:

- Art der vom Unternehmen betriebenen Transportgefässe
- Summe der angebotenen Sitzplatzanzahl
- Betrieblicher Aufwand für Linienlauflänge
- Korrekturfaktor für unterschiedliche Haltestellendichte
- Geschwindigkeit der angebotenen Linien (korreliert mit der Wegzeit)
- Störungsanfälligkeit durch externe Gegebenheiten (Fahrplanstabilität)
- Betriebskosten je Platzkilometer: Diese sind bei der S-Bahn aufgrund des grösseren Platzangebots deutlich geringer als bei Bussen oder Strassenbahnen

Ein Vorteil dieser Einnahmenverteilungsart ist somit der geringe Mess- und Modellierungsaufwand. Die meisten der oben erwähnten Indikatoren können aus der Rechnungsführung der

Verkehrsunternehmen herausgelesen, bzw. ohne grossen Aufwand berechnet werden. Erhebungen, die Berechnung von Verteilschlüsseln und Modellen sowie komplexe Hochrechnungen werden damit obsolet – die Einnahmenverteilung kann mit geringem finanziellen Aufwand durchgeführt werden.

Allerdings existieren ernst zu nehmende Nachteile, da die Verteilung unabhängig der Nachfrage durchgeführt wird: Es besteht die Gefahr, dass Unternehmen in nachfrageschwachen Gebieten ein eigentlich unrentables Überangebot planen, zum Beispiel mit viel zu grossen Fahrzeugen oder mit zusätzlichen Fahrplanfahrten zu Zeiten, wo kein Bedürfnis danach besteht. Obwohl dadurch kaum mehr Leute zur Benützung des ÖV animiert werden, steigt die Betriebsleistung und somit der Einnahmenanteil. Um unsinnige Angebotsverbesserungen zu verhindern, müsste die Entwicklung der Nachfrage gemessen werden, was bei der Einnahmenverteilung zu einer Mischform zwischen Angebots- und Nachfrageorientierung führen würde.

Zusätzlich besteht für die Unternehmen kaum Anreiz, die Qualität ihres Angebots zu verbessern, da diese durch weiche, also nicht quantitativ messbare Parameter wie den Komfort abgebildet wird. Hier gilt es, dass der Verbund und die Besteller (Politik) Qualitätsstandards festlegen und in regelmässigen Abständen Kontrollen über die Einhaltung bei den Verkehrsunternehmen durchführen sollten.

2.3.2 Nachfrageorientierte Einnahmenverteilung

Die nachfrageorientierte Einnahmenverteilung berücksichtigt bei der Verteilung nur den Markt, also die tatsächliche Inanspruchnahme der Verkehrsleistung. Verwendete Parameter bilden dementsprechend die Ertragskraft, bzw. Tarifergiebigkeit je betriebener Linie ab, welche einerseits durch höheres Personenaufkommen und andererseits durch teurere verwendete Fahrausweisarten ansteigt. Dementsprechend können folgende Indikatoren bei der Verteilung einbezogen werden:

- Verkehrsaufkommen (Anzahl beförderte Fahrgäste)
- Verkehrsleistung: Entspricht der Anzahl beförderten Personen multipliziert mit deren durchschnittlichen Reiseweiten und wird in Personenkilometern angegeben.
- Fahrausweisquerschnitt: Zeigt, zu welchem Anteil jede im Verbund angebotene Fahrausweisart in einem Verkehrsmittel benützt wird, also zum Beispiel 5% externe Angebote, 25% Jahreskarten, 30% Tageskarten, 40% Einzelfahrscheine. Grundsätzlich gilt: Je mehr teure Einzelfahrscheine zu Lasten günstiger Verbundabonnemente verwendet werden, desto mehr steigt die Linienetragskraft.

Des Weiteren spricht man im Zusammenhang mit der nachfrageorientierten Einnahmenverteilung oft von Beförderungsfällen. Dabei bezeichnet der Verbundbeförderungsfall die Reise einer Person in einem Verbund vom Abgangs- zum Bestimmungsort. Er kann aufgeteilt werden in Unternehmensbeförderungsfälle (Fahrt mit einem bestimmten Verkehrsunternehmen eines Verbunds), Betriebszweigbeförderungsfälle (Fahrt mit einer bestimmten Verkehrsmittelart, zum Beispiel nur S-Bahn, eines bestimmten Unternehmens innerhalb des Verbunds) sowie Linienbeförderungsfälle (Fahrt mit einer bestimmten Linie im Verbund).

Zusätzlich muss berücksichtigt werden, dass Fahrausweise in Verbunden von allen beteiligten Verkehrsunternehmen verkauft werden können. Fließen die Einnahmen sofort in einem zentralen verbundweiten Topf zusammen, müssen Erhebungen über die Art und Benützung der Fahrausweise aller Nutzer, also der «Gesamtnutzer», durchgeführt werden, um erwähnte Parameter für die Einnahmenverteilung zu bestimmen. Verbleiben die Einnahmen zunächst bei den entsprechenden Unternehmen und wird bei den Fahrausweisen das Ausgabeunternehmen aufgeführt, müssen die beteiligten Verkehrsunternehmen nur Erhebungen über «Fremdnutzer» durchführen, also bei Personen, die ihren Fahrausweis bei einem anderen am Verbund beteiligten Unternehmen gekauft haben. Mit diesen Daten können die Verkehrsunternehmen dann gegenseitig Einnahmenansprüche geltend machen. Dies macht nur Sinn, wenn alle beteiligten Unternehmen etwa gleich gross sind, der Anteil Fremdnutzer relativ klein ist und keine verbundweit gültigen Fahrausweise angeboten werden.

Tabelle 2 fasst grundsätzliche Erhebungsverfahren zusammen und verweist auf die damit möglichen Einnahmenverteilarten. Wird lediglich das Verkehrsaufkommen mithilfe von Ein- und Aussteigerzahlen berechnet, entsteht das in Abbildung 4 erläuterte Problem: Wie sollen die Fahrgastanzahl und die Personenkilometer adäquat gewichtet werden?

Daher erscheint es sinnvoll, wenn auch mit einem deutlich höheren Datenerhebungsaufwand verbunden, Fahrausweisquerschnitte in die Berechnung einzubeziehen. Dann nämlich können die Gesamteinnahmen in verschiedene Töpfe, nämlich je einen pro Fahrausweisart, verteilt werden, was mithilfe der entsprechend erhobenen Daten die Berechnung der Tarifergiebigkeit je Linie ermöglicht. Für jeden Topf kann ein spezifischer Verteilschlüssel kalkuliert werden, nach dem die beteiligten Verkehrsunternehmen in Form eines Anteils je Fahrausweisart entlohnt werden.

Wenn der Fahrausweisquerschnitt nicht mit der Verkehrsleistung kombiniert wird, werden ländliche Verkehrsunternehmen benachteiligt, die viele Fahrgäste über weite Distanzen befördern. Dies entspricht erneut dem in Abbildung 4 erwähnten Problem – die Anzahl Einsteiger wurden einfach mit der Anzahl Fahrausweise ersetzt. Deshalb ist es zweckvoll, in einem

ersten Schritt zusätzlich den Ein- und Ausstiegsort der Fahrgäste auf entsprechender Linie zu erfassen, um die Verwendung der Fahrausweise nach Distanz zu gewichten. In einem weiteren Schritt werden der Abgangs- und Bestimmungsort der gesamten Reise sowie die Umstiegshaltestellen evaluiert, um den Wert eines Personenkilometers je Fahrausweisart zu quantifizieren. Die Einnahmen können dann fahrtabschnittsgenau verteilt werden. Ein entsprechendes Verfahren wird für die HOP angewandt, s. Kapitel 2.4.

Tabelle 2 Nachfrageorientierte Erhebungsverfahren, getrennt nach Fremd- und Gesamtnutzern, nach Wermuth (2007).

	Erhebungsobjekt	Erfasste Merkmale	Erlöszuscheidung
Fremdnutzer	Ein- /Aussteigerzählung	Zahl der Ein- und Aussteiger je Haltestelle	Linienlerlöszuscheidung nach pauschaler Verkehrsleistung (Pkm)
	Fahrausweisart von Fremdnutzern (Erw. Schwerbehindertenerhebung)	Fahrausweisart Fahrausweisausgebendes VU	Fremdnutzerausgleich nach Linien-Beförderungsfällen je Fahrausweisart
	Linien-Beförderungsfälle von Fremdnutzern	Fahrausweisart Fahrausweisausgebendes VU Einstiges- und Ausstiegshaltestelle (auf der Linienfahrt)	Fremdnutzerausgleich nach Linien-Beförderungsfällen und Verkehrsleistung je Fahrausweisart
	Verbund-Beförderungsfälle von Fremdnutzern	Fahrausweisart Fahrausweisausgebendes VU Ersteinstiegs-, Endausstiegshaltestelle Umstiegshaltestellen	Fremdnutzerausgleich nach Beförderungsfällen und Verkehrsleistung unter Berücksichtigung aller Fahrtabschnitte einer Personenfahrt im Verbund je Fahrausweisart
Gesamtnutzer	Fahrausweisarten (Erw. Schwerbehindertenerhebung)	Fahrausweisart	Linienlerlöszuscheidung nach Linien-Beförderungsfällen je Fahrausweisart
	Linien-Beförderungsfälle	Fahrausweisart Einstiegs- und Ausstiegshaltestelle (auf der Linienfahrt) Umstieg ja/nein	Linienlerlöszuscheidung nach Linien-Beförderungsfällen und Verkehrsleistungen je Fahrausweisart
	Verbund-Beförderungsfälle	Fahrausweisart Ersteinstiegs- und Endausstiegshaltestelle Umstiegshaltestellen	Linienlerlöszuscheidung auf der Basis der Bewertung aller Fahrtabschnitte einer Personenfahrt im Verbund je Fahrausweisart

Schliesslich kann bei Relationen mit Umstiegspunkten berücksichtigt werden, dass sich die Ticketpreise aus einem fixen, entfernungsunabhängigen Grundpreis und einem variablen, entfernungsabhängigen Arbeitspreis zusammensetzen. Der Grundpreis soll dabei den Bereitstellungspreis des Angebots der Verkehrsunternehmen suggerieren, der Arbeitspreis die bei steigender Reiseweite zunehmenden Transportkosten decken. Dabei steigt der Arbeitspreis nicht zwingend proportional zur zurückgelegten Distanz, sondern oftmals unterproportional, was in

einem degressiven Tarifsystem resultiert. Bei Verwendung von Tarifzonen kann der Arbeitspreis auch durch einen Zonenpreis ersetzt werden.

Dieser Umstand kann genutzt werden, um den Erlös einzelner Linien zu berechnen, wenn mehrere Linien bei einem Verbundbeförderungsfall genutzt werden. Betrachten wir dazu als Beispiel einen Beförderungsfall von 8km Reiseweite. Die Tarifierungsfunktion sei linear, der Grundpreis betrage 1.80€, der Arbeitspreis 0.20€ pro Kilometer und der Gesamterlös somit 3.40€ (s. Abbildung 5). Nehmen wir ausserdem an, dass sich der Beförderungsfall in zwei Unternehmensbeförderungsfälle teilt, wobei der erste eine Länge von 1km und der zweite eine Länge von 7km aufweist. Bei einer Einnahmenverteilung nach Personenkilometern würde das erste Unternehmen einen Achtel des Gesamterlöses (0.425€) erhalten. Nun berechnet sich der Erlös eines Fahrtabschnittes i aber wie folgt:

$$Erlös_i = \frac{\text{Grundpreis}}{\text{Anzahl Fahrtabschnitte}} + \text{Arbeitspreis} \cdot \text{Reiseweite}_i$$

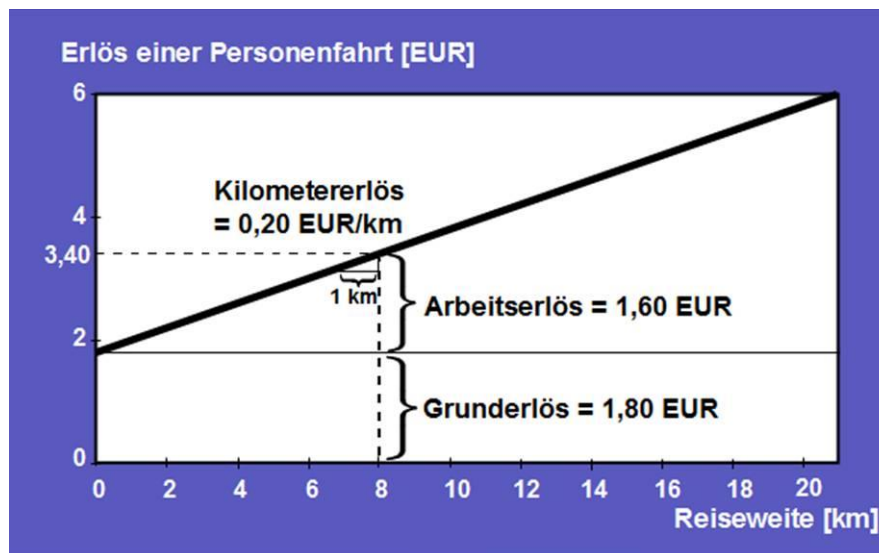
Formel nach Wermuth (2007)

Folglich resultiert für das erste Unternehmen:

$$Erlös_1 = \frac{1.80\text{€}}{2} + 0.20\text{€} \cdot 1[\text{km}] = 1.10\text{€}$$

Somit werden städtische Unternehmen, wo Fahrgäste durchschnittlich kürzere Strecken zurücklegen, unter Berücksichtigung ihres Betriebsaufwands angemessener entschädigt.

Abbildung 5 Beispiel einer Erlösrechnung.



Quelle: Wermuth (2007), Folie 7

Kossak (2001) kritisiert allerdings, dass der Zusammenhang zwischen Grundpreis und Arbeitspreis ungenügend nachvollziehbar sei, da die unterschiedlichen Voraussetzungen und Rahmenbedingungen der im Verbund beteiligten Verkehrsunternehmen nicht in einer aus der Tarifsystematik stammenden Erlösrechnung berücksichtigt werden können. Des Weiteren widerspiegeln der Grundpreis nicht, dass er rein vom Angebot abhängig sei und nicht von der Anzahl Fahrgäste sowie des Fahrausweisquerschnitts. Schliesslich könne der Grundpreis durch verschiedene Rechnungsansätze, z. B. Regressionsanalyse oder verkehrsmittelspezifisch nach festen Anteilen an der Einnahme, berechnet werden, was in völlig unterschiedlichen Ergebnissen resultieren würde.

Allgemein gilt es weitere Probleme bei der nachfrageorientierten Einnahmenverteilung zu beachten: Bereits erwähnt wurde der höhere Datenerhebungsaufwand, um benötigte Indikatoren zu berechnen. Spichal (2013) geht davon aus, dass für eine genaue Datengrundlage alle fünf Jahre eine Erhebung der Fahrausweise und Fahrtrelationen notwendig ist, ca. 0.2% aller Fahrgäste befragt werden müssen sowie die ganze Erfassung etwa 1% der Fahrausweiseinnahmen kostet. Dabei können statistische Fehler von 8-12% je Linie bei einem Signifikanzniveau von 5% auftreten, nur etwa 25% der tatsächlich von Fahrgästen einer Linie befahrenen Gesamtrelationen werden durchschnittlich erfasst.

Hinzu kommen die äusseren Rahmenbedingungen (s. Kapitel 2.2.3), welche die Berechnung der Linienetragskraft in Frage stellen: Ob tendenziell günstige oder teure Fahrausweisarten auf bestimmten Fahrtabschnitten im Verbund verwendet werden, hängt nämlich direkt von den sozioökonomischen Faktoren sowie dem Angebot in der entsprechenden Region ab. Werden also in einem Studentenquartier praktisch ausschliesslich günstige Schülerfahrausweise verwendet, erhält das entsprechende Betreiberunternehmen spürbar weniger Einnahmenezuschüsse als eine andere am Verbund beteiligte Betreibergesellschaft mit ähnlich hoher Nachfrage. Die Einnahmenverteilung impliziert also fälschlicherweise identische Tätigkeitsgebiete der einzelnen Verkehrsunternehmen, was in einer Nachfragenverzerrung resultieren kann.

Eine weitere Problematik bildet die Erlösberechnung von unternutzten Fahrten, bei denen nicht der volle Gültigkeitsbereich eines Verbundfahrausweises genutzt wird. Besonders grossräumig gültige Dauerausweise werden oft zu zusätzlichen unternutzten Fahrten gebraucht. Je nach Gewichtungsergebnis ergeben sich völlig andere Erlöse: Bei der Berechnung nach Anzahl der Fahrten (mit einem Verbundfahrausweis) kann der Wert einer unternutzten Fahrt ein Vielfaches höher sein als bei der Berechnung nach Personenkilometer.

2.3.3 Bilaterale Abkommen

Bilaterale Abkommen bilden eine Möglichkeit, die Einnahmenverteilung ohne grossen Aufwand durchführen zu können. Die Anteile an den Gesamteinnahmen werden dabei zwischen dem Verbund und allen beteiligten Verkehrsunternehmen separat verhandelt. Da dazu keine zusätzlichen Parameter zu bestimmen sind, fällt der Datenerhebungsaufwand weg, was diese Variante besonders einfach und kostengünstig macht. Die Gerechtigkeit des Verfahrens ist insofern gewährleistet, als dass alle Unternehmen eine Kompromisslösung aushandeln, die sie selbst als gerecht empfinden.

Aus wissenschaftlicher Sicht hingegen lässt sich das Verfahren nicht als fair bezeichnen. Ohne auswertbare Grundlagendaten fehlt jegliche Logik – die Verkehrsunternehmen scheinen willkürlich anhand ihres Verhandlungsgeschicks entlohnt zu werden. Es stellt sich somit die Frage, ob diese Methode einen akkuraten Umgang mit öffentlichen Mitteln darstellt.

2.3.4 Aufgrund von Verkaufsdaten

Spichal (2013) plädiert für ein vertriebsdatengestütztes Verteilungsverfahren. Dieses basiert auf der Auswertung von Verkaufsstatistiken, welche klassisch zu jeder Fahrausweisart den Preis, die verkaufte Stückzahl (somit den Erlös) und das verkaufende Unternehmen auffüh-

ren. Zusätzlich zu diesen Parametern muss das Tarifsysteem so aufgebaut sein, dass die ungefähre Fahrtrelation von einer «Start-» zu einer «Zielwabe» (z. B. Anfangs- und Endtarifzone) ersichtlich wird. Auch die Liniennummer des verkaufenden Unternehmens, die «Verkaufslinie», soll evaluiert werden können. Jeder Linie werden in einer «Bedienmatrix» nun die durchfahrenen Tarifwaben (Zonen) aufgelistet.

Für die Modellierung der je Fahrausweis zurückgelegten Routen werden folgende Annahmen getroffen: Die Fahrt beginnt mit der Verkaufslinie aus der Startwabe. Falls diese direkt zur Zielwabe führt, wird eine direkte Fahrt ohne Umsteigevorgang angenommen – die Verkaufslinie erhält dann den gesamten Erlös aus dem entsprechenden Fahrausweistopf. Sonst wird mit der Bedienmatrix eine Umsteigelinie gesucht, die in Anbetracht des Gültigkeitsbereiches des Fahrausweises zur Zielwabe führt. Die beiden Linien erhalten entsprechend des gewählten Aufteilungsverfahrens (z. B. Grund- und Arbeitspreis, s. Kapitel 2.3.2) einen Erlös aus entsprechendem Topf. Kommen mehrere Umsteigelinien in Frage, werden die Verkehrsströme anhand des Anteils der verkauften Fahrausweise in der Gegenrichtung aufgeteilt. Falls keine Umsteigelinie gefunden werden kann, wird die Verkaufslinie als Zubringerlinie innerhalb der Startwabe betrachtet. Dieser wird ebenfalls abhängig vom gewählten Aufteilungsverfahren ein relativ zur Gesamtfahrt berechneter Anteil aus dem Topf zugeschrieben. Bei den Gegenrelationen wird dann angenommen, dass derselbe Anteil aller Fahrgäste mit entsprechender Zubringerlinie in der Tarifwabe abtransportiert wird – die Linie dient also zugleich als Abbringerlinie und erhält entsprechend einen Anteil aller Fahrausweistöpfe der Gegenrichtung.

Das geschilderte Verfahren weist allerdings einige Probleme auf: Einerseits kann praktisch nur bei Einzeltickets davon ausgegangen werden, dass die erste benutzte Linie auch vom Fahrausweis verkaufenden Unternehmen betrieben wird. Andererseits stösst auch die Annahme der «Symmetrie von Hin- und Rückweg» an ihre Grenzen. Fehlende Daten für die Rückrichtung, zum Beispiel wenn eine Wabe ausschliesslich aus einem Arbeitsviertel besteht, können zu Unsicherheiten führen. Insbesondere bei Dauerfahrkarten und verbundweit gültigen Fahrausweisen können je nach Fahrzweck mehrere Wege in Frage kommen, unter anderem auch unternutzte Fahrstrecken, bei denen die Fahrtrelation schon vor der Zielwabe endet. Auch in dichten Verkehrsnetzen, z. B. mit parallel verlaufenden Linien, wird eine liniengetreue Einnahmenverteilung schwierig, da der Fahrgast sich für die nächst angebotene Fahrplanfahrt unabhängig der Liniennummer entscheidet. Deshalb werden zur Modellkalibrierung trotzdem Fahrgastzählungen und allenfalls auch Befragungen benötigt. Entsprechende Massnahmen werden von Spichal (2013) im innerstädtischen Verkehr auch vorgeschlagen. Schliesslich dürfte der Berechnungsaufwand für die Einnahmenverteilung in grossen Ver-

bunden immense Werte erreichen, da sämtliche Fahrtrelationen separat betrachtet werden müssen und zahlreiche Iterationen notwendig werden, wenn viele Zubringerlinien existieren.

2.3.5 Mischformen

Wir haben festgestellt, dass sich die ersten vier Methoden sowohl durch Vorteile auszeichnen, aber auch Probleme bergen. Es liegt auf der Hand, dass Kombinationen aus mehreren Einnahmenverteilungsarten die Stärken der Verfahren kombinieren und Schwächen abmildern können. Die Herausforderung besteht darin, den Überblick über das Gesamtverfahren zu bewahren sowie den Aufwand auf einem praxistauglichen Niveau zu wahren. Die Verwendung der gewählten Parameter muss logisch begründbar sein, eine nachvollziehbare Gewichtung der Indikatoren muss gefunden und ebenfalls legitimiert werden können.

2.4 Datenerfassung

Die Logik und «Fairness» aller Einnahmenverteilungsarten sind direkt von der Qualität der zu Grunde liegenden Daten beeinflusst. Je genauer die Daten sein sollen, desto mehr Aufwand muss in die Erhebung und Auswertung derselben investiert werden, was zu einem Zielkonflikt führt. Als Kompromisslösung beschränken sich die Verbunde auf die Erfassung einiger wesentlicher Parameter. Welche Parameter wesentlich sind, entscheidet allerdings jeder Verbund für sich selbst – es sind keine Standards vorhanden.

Angebotsorientierte Parameter können durch Analyse der betrieblichen Kennzahlen erfasst werden. Vertriebsgestützte Daten werden aus den Verkaufsstatistiken gewonnen. Nachfrageorientierte Indikatoren werden direkt in den Fahrzeugen evaluiert: Die Fahrgastanzahl wird entweder durch Angestellte (Buschauffeur, Zugchef, Sicherheitspersonal, usw.) geschätzt oder über automatische Fahrgastzählssysteme an den Türen gemessen. Diese Daten dienen nicht nur der Einnahmenverteilung, sondern auch zur Erstellung von Fahrzeitanalysen, zur Messung und Optimierung von Verkehrsströmen sowie zur Kapazitätsbewirtschaftung. Fahrtrelationen können durch Interviews und im Rahmen von Fahrausweisquerschnittserhebungen stichprobenartig hergeleitet und hochgerechnet werden, auch externe Umfragen sind möglich. Exemplarisch wollen wir die Frequenzerfassung der an der HOP beteiligten schweizerischen Bahnunternehmen etwas genauer vorstellen, um einen Eindruck zu vermitteln, welcher Aufwand hinter der Datengewinnung stecken kann. Wir berichten vorwiegend aus eigener Erfahrung, verweisen aber auf die Broschüre «Kundenbefragung im Zug» der SBB (2012), die an allen grösseren Bahnhöfen erhältlich ist.

Jährlich werden in jedem Zug fünf Erhebungen (drei an Werktagen und je eine an einem Samstag und einem Sonntag) über die Art und die Benützung der Fahrausweise durchgeführt. Jede Erhebung wird durch mindestens zwei «Servicemitarbeitende Zug» geleitet. Diese fordern die Fahrgäste auf, ihre Fahrausweise vorzuzeigen sowie den Abgangs- und Bestimmungsort der gesamten Bahnreiseleration zu nennen. Bei jedem Fahrgast wird die in Abbildung 6 ersichtliche Erfassungsmaske ausgefüllt.

Abbildung 6 Erfassungsmaske bei der Frequenzerfassung der an der HOP beteiligten schweizerischen Bahnunternehmen.

SBB FQ V2.10 -84% 12:09

1. 1./2. AUSL ←

GA Liniensuche

420

V 900

B

I

O

0) 90011 Zürich HB
 1) 90012 Zürich Wiedi
 2) 90013 Zürich Enge
 3) 90014 Zürich Wollis
 4) 90015 Kilchberg
 5) 90016 Rüslikon
 6) 90022 Thalwil
 7) 90023 Oberrieden
 8) 90024 Horgen
 9) 90025 Au ZH

1 2 3
 4 5 6
 7 8 9
 * 0 Enter

1/3

Quelle: SBB (2012)

In der ersten Zeile wird die Wagenklasse (1., 2. oder Gepäck) eingegeben sowie die Herkunft von im Ausland ausgegeben Tickets durch Eingabe der Taste AUSL gekennzeichnet, danach folgt die Erfassung der Fahrausweisart. Dazu stehen mehrere Tastfelder zur Verfügung, die von GA für Generalabonnemente über TK für Tageskarten, EUR für Eurail-Angebote, V für Verbundfahrausweise, MFK für Mehrfahrtenkarten bis hin zu 1/2-ABO für durch Halbtax ermässigte Tickets reichen. Jede Fahrausweisart wird durch eine eindeutige Kombination dieser Tastfelder charakterisiert. So steht (TK) (V) (1/2-ABO) beispielsweise für eine mit Halb-

tax ermässigte Verbundtageskarte, (MFK) (1/2) für eine durch ein Kind oder einen Hund benützte Mehrfahrtenkarte, (AUSL) (SPEZ) (MFK) (8) für ein durch Bahncard ermässigt Europa-Spezial-Angebot der Deutschen Bahn oder (MFK) (MFK) (MFK) für Schwarzfahrer. Bei Dauerfahrkarten und Generalabonnements wird zusätzlich die Artikelnummer erfasst, um die unterschiedlichen Preisstufen, z. B. zwischen Junioren- und Erwachsenentarif, zu berücksichtigen. Die in Abbildung 6 ersichtliche Artikelnummer 420 charakterisiert ein normales Erwachsenen-GA, 4420 steht für ein in Monatsraten bezahltes Erwachsenen-GA, 421 für ein Junior-GA, 422 bezeichnet ein Seniorinnen-GA, usw.

Erst jetzt wird die Fahrtrelation erfasst. Die erste Zeile V (von) charakterisiert den Abgangsbahnhof, die zweite B (bis) den Zielbahnhof. Liegen diese Bahnhöfe nicht auf dem erfassten Zuglauf, wird bei I (in) der Einstiegsbahnhof in den erhobenen Zug und bei O (out) der Umsteigebahnhof zur Weiterfahrt ergänzt. Die Bahnhöfe werden dabei nicht ihrem Namen entsprechend in Buchstaben eingegeben, sondern mit je einem fünfstelligen Code erfasst. Die ersten drei Zahlen des Codes beschreiben eine Linie – sie stimmen meist mit den Fahrplanfeldern aus dem Kursbuch überein. Das in Abbildung 6 gezeigte Beispiel zeigt die Linie 900, welche von Zürich HB bis nach Chur führt. Die letzten beiden Ziffern bilden den Bahnhofscodierung: Der erste Bahnhof einer Linie bildet die 11, der zweite die 12 usw., bis ein grösserer Knotenpunkt erreicht wird, welcher mit der folgenden Schnapszahl codiert wird (im Beispiel Thalwil mit der 22). Der letzte Bahnhof erhält automatisch den Code 99, Chur wäre also 90099.

Grössere Bahnhöfe besitzen mehrere Codierungen, nämlich für jede Linie, an der sie liegen, einen. So existieren für Chur nebst 90099 auch die Codes 91011 (Chur-Landquart-Davos-Filisur), 92011 (Chur-Disentis), 93011 (Chur-Arosa) und 94011 (Chur-St. Moritz). Die Servicemitarbeitenden Zug müssen nun darauf achten, immer den richtigen Code einzugeben. Für eine Fahrt von Zürich HB direkt nach Chur wählen sie beispielsweise V 90011 B 90099, für die Relation Zürich HB nach Chur via Göschenen-Andermatt-Disentis im Interregio von Zürich nach Locarno V 66111 (Zürich HB auf der Strecke Zürich-Arth-Goldau) B 92011 (Chur von Disentis) O 60044 (Göschenen auf der Strecke Luzern-Como).

Internationale Fahrtrelationen können mit besonderen Codes erfasst werden, wobei die ersten drei Ziffern den Grenzübergang, die letzten beiden die Zielregion charakterisieren. So steht 07683 z. B. für die Endregion Stuttgart (83) via den Grenzbahnhof Schaffhausen (076).

Des Weiteren werden mit dem auf den Fahrplanwechsel Dezember 2013 eingeführten System SAMY («Size As Much as You can») auch die Anzahl Leerplätze eingegeben, um zusätzliche Daten über die Auslastung der Züge zu erhalten. Um diese fahrtabschnittsgetreu abzubilden,

wird bei jeder Haltestelle ein Halte- oder Wendepunkt erfasst. Ein Wendepunkt impliziert, dass alle Plätze des Zuges erfasst wurden und nun ein neuer Durchgang mit Erfassung der neu zugestiegenen Reisenden erfolgt.

Alle erhobenen Daten werden zur Kontrolle an einen Systembetreuer gesandt. Dieser korrigiert und beurteilt die Qualität der Daten. Bei mangelnder Quantität oder Qualität ordnet er eine Nacherfassung des Zuges an. Fehlen am Ende des Jahres Daten, muss das zuständige Transportunternehmen eine Konventionalstrafe zahlen.

2.5 Konkrete Anwendungen in Deutschland und der Schweiz

Für einen Überblick durchsuchten wir die Literatur nach Berichten über die wichtigsten Verteilungsverfahren in den Verbunden der deutschsprachigen Region. Zudem schrieben wir für Informationen aus erster Hand diverse Tarif- und Verkehrsverbunde in der deutschsprachigen Region an und baten um Angaben darüber, wie bei ihnen die Einnahmenverteilung vollzogen wird. Auf unsere Anfragen hin meldeten sich einige und lieferten uns Informationsmaterial oder verwiesen auf vorhandene Literatur über ihre Verteilungsmechanismen. Die zusammengetragenen Unterlagen werteten wir aus und berichten an dieser Stelle über die Ergebnisse.

2.5.1 Verteilung der GA-Einnahmen

Das Generalabonnement (GA) ist ein Fahrausweis, der seinem Besitzer über die Dauer seiner Gültigkeit freie Fahrt in fast allen öffentlichen Verkehrsmitteln der Schweiz und in Liechtenstein gewährt. Das GA für die 2. Klasse kostet gemäss ch-direct (2013) für Erwachsene zurzeit 3'550 CHF und ist für Vielfahrer über längere Strecken der günstigste Fahrausweis (SBB, 2010). Im Jahr 2013 wurden knapp 450'000 GA ausgegeben (ch-direct, 2013). Wegen der grossen Zahl an Transportunternehmen, die dem GA-Gültigkeitsbereich angeschlossen sind, ist der Verteilschlüssel sehr komplex. Nach Meyer, Wenzinger und Scheidegger (2005) wurden im Jahr 2005 zum bestehenden Teilschlüssel neue Elemente hinzugefügt, um die Genauigkeit weiter zu erhöhen, darunter eine Vergrösserung der Stichprobe sowie neu eine rollende, jährliche Berechnung.

Der Grundpfeiler des GA-Verteilschlüssels ist eine Befragung. Jährlich werden mehrere hundert GA-Besitzer aufgefordert, ihre Reisen während einer Woche auf einem sogenannten Reiseblatt genau zu dokumentieren. Auch wenn sie während dieser Woche keine Reisen tätigen, werden sie gebeten, dies genau so festzuhalten. Jede Reise mit einem GA wird mit einem Vollpreisbillett der gleichen Klasse bewertet. Es wird unterschieden zwischen drei Teiltöpfen: GA 2. Klasse, GA 1. Klasse und Monatsklassenwechsel. Zusätzlich wird innerhalb der Töpfe

nach der Umsatzstärke der Artikelgruppen gewichtet. Die Resultate aus den angegebenen Reisen der umsatzstärksten Artikelgruppe erhalten dadurch das grösste Gewicht auf den Schlüssel eines Topfes.

Der virtuelle Ertrag wird danach auf die an der Reise beteiligten Transportunternehmen verteilt. Die virtuellen Erträge summieren sich pro Transportunternehmen und ergeben geteilt durch die Gesamtsumme der virtuellen Erträge den relativen Anteil. In einem nächsten Prozess werden sehr niedrige Anteile von Nahverkehrsunternehmen korrigiert, um diese wegen den von Jahr zu Jahr (im Verhältnis) stark schwankenden Anteilen nicht zu benachteiligen. So wurde festgelegt, dass übermässige Abweichungen der Anteile von einem Jahr zum nächsten zugunsten resp. zuungunsten der Transportunternehmen ausgeglichen werden.

Um Veränderungen über mehrere Jahre korrekt abzubilden und den Einfluss von kurzfristigen Nachfrageänderungen abzufedern, führte der VÖV die rollende Berechnung ein. Neu wird jedes Jahr ein «Basisschlüssel» berechnet, der in die nachfolgenden Berechnungen einfließt. So berechnet sich der Schlüssel des aktuellen Jahres zu je einem Viertel aus den Basisschlüsseln der drei vorangegangenen Jahre.

Am Schluss werden die korrigierten Anteile der Transportunternehmen auf die drei Teiltöpfe angewendet. Das Unternehmen erhält somit aus jedem Topf den prozentualen Anteil am Geld, der seinem Verteilschlüssel entspricht.

2.5.2 Tarifverbund Nordwestschweiz TNW

Der Tarifverbund Nordwestschweiz (TNW) ist der Tarifverbund in den Kantonen Basel Stadt und Basel Landschaft und dehnt sich auch in die Kantone Aargau, Solothurn und Jura aus. Dem TNW sind sechs Transportunternehmen angeschlossen, darunter die SBB, Postauto Schweiz und vier regionale Unternehmen. An diese Unternehmen schüttete der TNW im Jahr 2007 Anteile aus Verkaufseinnahmen von Verbundfahrausweisen in der Höhe von rund 200 Millionen Franken aus (TNW, 2008).

Claudia Demel, Geschäftsführerin des TNW, erläuterte uns das Verteilungsverfahren in einem Gespräch. Der TNW verteilt die Einnahmen wie viele Tarifverbunde geschlüsselt nach Einsteigern und Personenkilometern, wobei die Fahrausweise in verschiedene Töpfe eingeteilt werden (siehe HVV). Die angeschlossenen Transportunternehmen erfassen die Einsteiger mit Handzählungen oder automatischen Frequenzzählgeräten, die an den Einstiegen die passierenden Fahrgäste zählen. Dazu gibt es Vorschriften, die bestimmen, wie und wie oft die Zählungen erfolgen müssen. Bekannte Frequenzabweichungen durch Taktanpassungen, Bau-

stellen oder ähnliches werden angepasst, um korrekte Beobachtungen zu erhalten. Die erhaltenen Daten werden für ein Jahr hochgerechnet. Der TNW führt aber keine Strukturhebungen durch und hat somit keine Kenntnis über die Fahrausweisstruktur in den verkehrenden Transportmitteln. Dies begründet sich darin, dass der Abonnementsanteil im TNW überdurchschnittlich hoch ist, weil die sogenannten «Umweltschutz-Abos» durch Firmen subventioniert werden und darum sehr günstig erhältlich sind. Erfassungen zum Fahrausweisquerschnitt bringen deshalb nur einen kleinen Nutzen im Vergleich zum Aufwand.

Speziell im TNW ist, dass eigens für Grenzgänger besondere Fahrausweise angeboten werden, die auf französischen oder deutschen Korridoren und im TNW gültig sind. Dazu gibt es bilaterale Abkommen, um der finanziellen Thematik gerecht zu werden.

2.5.3 Zürcher Verkehrsverbund ZVV

Der Zürcher Verkehrsverbund (ZVV) umfasst alle Gemeinden des Kantons Zürich sowie einige weitere in den umliegenden Kantonen. Im Verbund sind 44 Verkehrsunternehmen tätig, die jedes Jahr über 600 Millionen Fahrgäste befördern (ZVV, 2013). Der ZVV nahm im Jahr 2012 aus Verkehrserträgen 458 Millionen Franken ein. Als Verkehrsverbund ist der ZVV nicht nur für die tariflichen Regelungen zuständig, sondern als Teil der kantonalen Volkswirtschaftsdirektion auch die oberste verkehrspolitische Instanz im Kanton Zürich.

Im ZVV wird mit den Einnahmen aus dem Fahrausweisverkauf anders umgegangen als bei vielen Verbunden. Gemäss Yves Gaillard, Mitglied der Geschäftsleitung und Chef Finanzen des ZVV, gibt es im Zürcher Verkehrsverbund keine ertragsmässige Einnahmenverteilung. Sämtliche Erträge aus Verbundfahrausweisverkäufen verbleiben beim ZVV. Die Transportunternehmen werden vom ZVV für ihren Betriebsaufwand entschädigt, wobei die Höhe der Leistung in Transportverträgen individuell geregelt wird. Abweichungen vom tatsächlichen Betriebsaufwand gehen zugunsten oder zulasten der Transportunternehmen (Art. 25 PVG Kanton Zürich).

2.5.4 Nachfrageorientierte Einnahmenverteilung nach Rapp Trans

Die nachfrageorientierte Einnahmenverteilung setzt sich nach Bertschi (2011) aus zwei wesentlichen Grössen zusammen: Auf der einen Seite sind dies die beförderten Fahrgäste, also die Anzahl der einsteigenden Personen. Pro Fahrgast wird das Transportunternehmen mit einem Grundpreis für die fixen Reisekosten wie die Inanspruchnahme des Systems entschädigt. Zum anderen ist die Anzahl der Personenkilometer massgebend, es wird also die Leistung zur Beförderung eines Fahrgasts entschädigt. Mit diesen beiden Werten kann für jede Linie ihr

Anteil an den Einnahmen pro Fahrausweistopf berechnet werden. Die Unterteilung der Fahrausweise in verschiedene Töpfe ist aus verschiedenen Gründen nötig, z. B. wegen unterschiedlichen Fahrgast- oder Fahrtenstrukturen der Transportunternehmen oder unterschiedlicher Tarifgestaltung der Fahrausweisarten.

Die nachfrageorientierte Einnahmenverteilung wird den Ansprüchen an eine Einnahmenverteilung am ehesten gerecht: Die Grundgrössen «Einsteiger» und «Personenkilometer» sind genau definiert und können nachvollziehbar erhoben werden. Andererseits wird beträchtlicher Aufwand betrieben, um diese Kennzahlen zu erhalten: Viele Fahrzeuge müssen mit automatischen Zählgeräten ausgerüstet werden, und wo keine vorhanden sind, wird sogar von Hand gezählt. Um Informationen über die Personenkilometer zu erhalten, sind Fahrgastbefragungen nötig, was ebenfalls zusätzlichen Aufwand bedeutet und von den Fahrgästen nicht in jedem Fall positiv aufgenommen wird.

2.5.5 Tarifverbund Libero

Der Tarifverbund Libero liegt im Raum Bern-Solothurn. Der Libero führt wie viele andere Tarifverbunde auch eine nachfrageorientierte Einnahmenverteilung durch, die auf den drei Grundkenngrössen Einsteiger, Personenkilometer und der Fahrausweisstruktur basiert. Die Einsteiger und die Personenkilometer werden gemäss Daniel Hirt, Geschäftsführung Libero Tarifverbund, jährlich erhoben, bzw. automatisch laufend durch Zählgeräte an Fahrzeugen. Die Fahrausweisstruktur erhebt der Verbund alle vier Jahre oder nach Bedarf. Bei der Fahrausweisstruktur unterteilt der Libero die Verbundfahrausweise in sechs Töpfe, nämlich halbe und ganze Einzelbillette und Mehrfahrtenkarten sowie volle und reduzierte Abonnemente. Durch die Erhebungen sind die Einsteiger und Personenkilometer pro Transportunternehmen und Teiltopf bekannt. Nun wird ähnlich wie in anderen Verfahren für jeden Teiltopf der prozentuale Anteil jedes Transportunternehmens berechnet. An dieser Stelle kommt auch eine Tarifdegression zum Zug. Das bedeutet, dass bei Kurzstreckenfahrausweisen der Grundpreis für Einsteiger etwas höher gewichtet wird als der Kilometerpreis. Am Schluss werden noch die Teiltöpfe anhand ihrer Ertragsmasse gewichtet.

2.5.6 Hamburger Verkehrsverbund HVV

Der Hamburger Verkehrsverbund verteilte seine Einnahmen gemäss Trostmann und Renken (2000) über dreissig Jahre lang nach einer angebotsorientierten Einnahmenaufteilung. Seit 1999 wird aber auch im HVV eine nachfrageorientierte Einnahmenaufteilung durchgeführt. Diese berücksichtigt insbesondere die reale Ertragskraft der Streckenabschnitte. Die beiden wichtigsten Kenngrössen dazu sind einsteigende Fahrgäste und Personenkilometer. Der Erlös

pro Einsteiger setzt sich dabei ähnlich wie bei Rapp Trans aus einem entfernungsunabhängigen Grundpreis und einem entfernungsabhängigen «Arbeitspreis» (Kilometerpreis mal Personenkilometer) zusammen. Die einsteigenden Fahrgäste werden durch automatische Fahrgastzählssysteme an den Fahrzeugeingängen erfasst und die Personenkilometer sowie der Fahrausweisquerschnitt durch Fahrgastbefragungen erhoben. Grundpreis und Arbeitspreis werden pro Verkehrsmittel unterschiedlich gewichtet, um den «unterschiedlichen Reiseweiten und den Besonderheiten des HVV-Tarifs» gerecht zu werden. Die Gewichtung des Grundpreises liegt zwischen 60-80%, wobei eine höhere Gewichtung durchschnittlich längeren Reisedistanzen entspricht. Beim Kilometerpreis kommt zusätzlich ein Degressionsfaktor zum Zug, weil Tickets für sieben und mehr Zonen gleich viel kosten. So sollen die Erlöse möglichst unternehmensbezogen, linienspezifisch und räumlich abgegrenzt zugeordnet werden können.

2.5.7 Münchner Verkehrsverbund MVV

Gemäss Inge Wuchenauer von der Kundenbetreuung MVV werden die Einnahmen im Münchner Verkehrsverbund zwischen dem Stadtverkehr München, dem SPNV und dem Regionalbusverkehr aufgeteilt. Der Anteil des Regionalbusverkehrs wird nach dem Verfahren der realen Ertragskraft berechnet. Die Anteile für den Stadtverkehr und den SPNV werden ohne Fahrausweisunterscheidung oder Berücksichtigung der Tarifstruktur aufgeteilt.

Zur Berechnung des Anteils für den Regionalbusverkehr wird alle drei Jahre eine Verkehrserhebung durchgeführt. Dazu zählt der MVV auf allen Linien Ein- und Aussteiger und befragt die Fahrgäste zu ihrer Fahrausweisart, der Nutzungshäufigkeit und den Reisewegen. Aus den so gewonnenen rund 500'000 Interviews berechnet der MVV einen Jahreswert und somit den Einnahmenanspruch der einzelnen Regionalbuslinien aus MVV-Fahrausweisen.

2.5.8 Verkehrsverbund Rhein-Neckar VRN

Der VRN bemühte sich nach Kummerow und Spichal (2006) schon früh, innovative Fahrausweiskonzepte in seinem Verbundgebiet umzusetzen. Den Start machte 1992 die «Karte ab 60», weitere günstige Zeitkarten für Studierende, Schüler und Pendler folgten. Um die Wirtschaftlichkeit dieser Angebote abzusichern, führte der VRN Ertragssicherungen ein: Schulen und Firmen leisten einen Grundbeitrag pro Schüler, Student, bzw. Arbeitnehmer und erkaufen sich damit Optionen, die Angehörige der Institution zum Kauf der entsprechend vergünstigten Zeitkarte nutzen können. Bei der Seniorenkarte übernehmen die Städte eine Ausfallgarantie. Personen, welche in keine dieser Zielgruppen fallen, können das Rhein-Neckar-Ticket erwerben. Bei all diesen Angeboten handelt es sich um mindestens ein Jahr lang gültige Zeit-

karten, die im gesamten Verbundgebiet gültig sind. Inzwischen machen Zeitkarten über 90% des Fahrausweisquerschnittes aus.

Bis 2002 wurden städtische Unternehmen bei der Einnahmenverteilung kategorisch bevorzugt: Einerseits wurde angenommen, dass Zeitkarten bei allen beteiligten Unternehmen gleich oft genutzt werden, andererseits wurde ein verbundweit gleich hoher Einnahmesatz ohne Berücksichtigung der Reiseweite je Personenfahrt festgesetzt, so dass ein hoher Anteil kurzer Fahrten (wie im städtischen Bereich üblich) übergewichtet wurde.

Bei der Revidierung der Einnahmenverteilungsmethode wurden folgende Grundsätze bestimmt: Nachfrageorientierung, Tarifbezug und Leistungsgerechtigkeit. Zusätzliche Fahrgäste, teurere Tickets und längere Fahrten führen somit zu mehr Erlös. Dieser wird für die unterschiedlichen Fahrausweisarten wie folgt berechnet:

- **Einzelfahrscheine:** Der Erlös entspricht dem Fahrpreis, dieser wird mit einem Korrekturfaktor aus Fahrgasterhebungen (tatsächliche Einnahmen / theoretisch erhobene Erlöse) je Preisstufe (Zonenanzahl) korrigiert.
- **Tarifgestaffelte Fahrausweise (nicht verbundweit gültig):** Der Erlös entspricht dem Fahrausweispreis dividiert durch die Anzahl Fahrten mal den Korrekturfaktor. Entspricht eine Fahrt einer tieferen Preisstufe als zulässig (nicht alle Zonen des Gültigkeitsbereiches werden genutzt), wird ein reduzierter Einnahmesatz durch die Fahrgasterhebung kalkuliert, so dass der Korrekturfaktor entsprechend angepasst wird.
- **Verbundweit gültige Zeitkarten:** Jede Fahrt wird zur entsprechenden Fahrausweisart aus der tarifgestaffelten Ticketkategorie referenziert. Der Erlös berechnet sich dann (analog wie zuvor) aus dem Preis des Referenztickets dividiert durch die Anzahl Fahrten mal den Korrekturfaktor:

$$\text{Erlös} = \frac{\text{Referenzpreis}}{\text{Fahrten}} \cdot \frac{\text{tatsächliche Einnahmen}}{\text{theoretische Erlöse}} \cdot \frac{\text{Nutzungshäufigkeit (Verbund)}}{\text{Nutzungshäufigkeit (Unternehmen)}}$$

Formel nach Kummerow und Spichal (2006)

Der zusätzliche Faktor Nutzungshäufigkeit stellt sicher, dass städtische Unternehmen nicht bevorzugt werden, indem eine höhere Nutzungshäufigkeit in der Stadt zu tieferen Erlösen je Fahrt führen.

2.6 Fazit

Ein ideales, praxistaugliches Verfahren zur Einnahmenverteilung, das nicht nur von allen beteiligten Akteuren als «gerecht» empfunden wird, sondern auch von wissenschaftlicher Seite her als logisch nachvollziehbar betrachtet werden kann, existiert bislang nicht und wird kaum jemals existieren können. Viel zu unterschiedlich sind Verkehrs- und Tarifverbunde aufge-

baut, mit viel zu mannigfaltigsten Rahmenbedingungen sind sie konfrontiert, als dass sich überhaupt ein optimales, für alle Verbunde anwendbares Standardverfahren entwickeln könnte. Nachdem sich bereits in der Theorie unzählige Lösungsansätze, allesamt mit Vor- und Nachteilen bestückt, entwickelt haben, haben sich in der Praxis noch viel mehr Methoden etabliert, die die Einnahmenverteilung zumindest unter partieller Berücksichtigung der den Verbund charakterisierenden Rahmenbedingungen abwickeln.

Eine «gerechte» Einnahmenverteilung zu finden, ist somit praktisch unmöglich, da je nach betrachteten Gesichtspunkten und aus jeder individuellen Sichtweise der beteiligten Transportunternehmen unterschiedlichste Indikatoren in die Einnahmenverteilung einbezogen werden müssten. Es existiert eine solch enorme Bandbreite an Parametern, die sich gegenseitig in vielfältigster Art und Manier beeinflussen, dass die vollständige Berücksichtigung aller nachfrage- und angebotsorientierter Faktoren einen unermesslichen Aufwand implizieren würde.

Kossak (2001) schlussfolgert deshalb zu Recht, dass die Verbunde mit einer begrenzten Beherrschbarkeit von Mass und Zahl in der Einnahmenverteilung konfrontiert seien. Als Weg aus diesem Dilemma würden sie sich auf eine geringe Anzahl quantifizierbarer Komponenten fokussieren. Obwohl in der Einnahmenverteilung niemals sämtliche wichtigen Faktoren berücksichtigt werden können, sei es ernüchternd, wie wenig Parameter in der Praxis zurzeit tatsächlich zur Verteilung einbezogen werden. Mangelnde Investitionen in die Verteilung würden schliesslich oftmals damit legitimiert, dass alle Verbundpartner mit ihrem Anteil zufrieden seien und ein höherer Aufwand deshalb als unnötig erachtet wird. Somit beschränke man sich vielerorts auf ein mehr oder weniger kompliziertes, mit eigenen Besonderheiten angereichertes Verfahren, das kaum je kritisch hinterfragt wird.

Des Weiteren weist Kossak (2001) darauf hin, dass die Einnahmenverteilung einerseits durch Einbezug von möglichst viel verschiedenen Faktoren aus den Markt kennzeichnenden Nachfrage- und das Unternehmen abbildenden Angebotsparametern durchgeführt werden sollte. Optimalerweise würden diese durch die besonderen Gegebenheiten des Verbundes kalibriert werden. Andererseits solle die Einnahmenverteilung nicht der Logik, sondern dem gegenseitigen «Einvernehmen» gerecht werden. Das bedeutet, dass die Verteilung eine von allen beteiligten Unternehmen getragene Kompromisslösung darstellen soll. Zudem müsse die Verteilungsmethodik verhindern, dass sich beteiligte Verkehrsunternehmen Vorteile zulasten anderer Partner verschaffen können.

3 Entwicklung eines neuen Ansatzes

Nun wechseln wir in den praktischen Teil unserer Arbeit. Unsere Untersuchungen der bestehenden Methoden zur Einnahmenverteilung haben gezeigt, dass diese teils sehr komplex und auch personell aufwendig sind. Eigentlich muss es doch möglich sein, die Einnahmenverteilung aufgrund einfacherer Kriterien durchzuführen. Die Erreichbarkeit bietet sich dazu als möglicher Parameter an. Denn verkehrspolitisch soll das Gesamtsystem hinsichtlich der Erreichbarkeit optimiert werden – dies wird jedoch durch keine bisher angewandte Verteilungsmethode berücksichtigt.

Jede Linie des öffentlichen Verkehrs leistet ihren Beitrag zur Erreichbarkeit. Dieser Beitrag unterscheidet sich von Linie zu Linie, je nachdem, wie viele Aktivitätsgelegenheiten an einer Linie liegen und wie viele Anschlussverbindungen eine Linie bietet. Anhand des Erreichbarkeitsbeitrags lassen sich alle Linien in eine Rangliste einreihen und so die Einnahmen entsprechend verteilen. Die Linie, die den grössten Beitrag zur Erreichbarkeit leistet, erhält auch den grössten Anteil an den Einnahmen. Eine Unterteilung in Töpfe, wie dies bei einigen Verteilungsvarianten gemacht wird, wäre nicht mehr nötig und auch die Personenkilometer könnten ausser Acht gelassen werden. Fahrgastbefragungen würden überflüssig. Es würde alleine genügen, den relativen Beitrag einer Linie zur Gesamterreichbarkeit des Systems zu berechnen. Dieser relative Anteil entspricht dem Anspruch aus dem Einnahmentopf. Ob dies funktioniert, wollen wir im praktischen Teil unserer Arbeit untersuchen.

Zuerst muss dazu der Begriff der Erreichbarkeit etwas genauer betrachtet werden. Wir zeigen danach, wie wir Ansätze zur Integration der Erreichbarkeit in die Erlöszuscheidung entwickelt und sie mithilfe einer im Verkehrsplanungsprogramm PTV Visum erschaffenen Testumgebung auf ihre Tauglichkeit überprüft haben. Dabei sind wir iterativ auf immer neue Probleme gestossen, welche es zu diskutieren gilt. Schliesslich runden Untersuchungen im Zürcher Modell sowie Analysen zum Zusammenhang zwischen Nachfrage und Erreichbarkeit dieses Kapitel ab.

3.1 Erreichbarkeit

3.1.1 Definition

Erreichbarkeit ist eine Grösse, die im Verkehrswesen häufig gebraucht wird. Sie ist eine dimensionslose Grösse und bezeichnet nach Axhausen (2004) die «(gewichtete) Anzahl aller

Gelegenheiten zur Teilnahme am gesellschaftlichen (wirtschaftlichen) Leben, die in für den jeweiligen Zweck angemessener Zeit (generalisierte Kosten) erreicht werden können». Die Erreichbarkeit setzt sich also aus den folgenden zwei Eigenschaften zusammen:

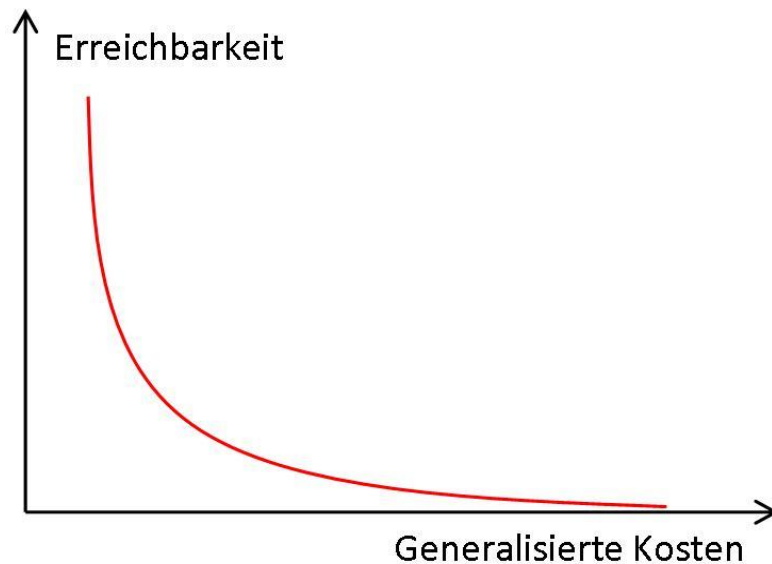
- Anzahl Aktivitätsgelegenheiten, die von einem Ort aus erreicht werden können: Arbeitsplätze, Wohnungen, Freizeiteinrichtungen, Bildungsstätten usw.
- Generalisierte Kosten, die einem Fahrgast zur Erreichung der jeweiligen Aktivitätsgelegenheit anfallen. Im ÖV sind dies: Zugangszeit, Wartezeit, Fahrzeit im Fahrzeug, Umstiegswartezeit, Anzahl Umstiegsvorgänge, Takt und qualitativ auch die Art des Fahrzeugs inklusive Komfort sowie die Kundeninformation.

Aus diesen beiden Grössen wird die Erreichbarkeit von einem Ort i aus wie folgt berechnet:

$$E_i = \ln \left(\sum_{j=1}^n A_j \cdot e^{\beta \cdot c_{ij}} \right)$$

Dabei bezeichnet E die Erreichbarkeit, i den Ausgangsort, j den Zielort, $\{1, 2, \dots, n\}$ alle berücksichtigten Orte (zu denen man von i aus gelangen kann), β den Gewichtungsfaktor der generalisierten Kosten (dieser ist eine negative Zahl) und c_{ij} die generalisierten Kosten, um von i nach j zu gelangen. Der Exponent kann aufgeteilt werden in eine Summe von Gewichtungsfaktoren und entsprechenden Kosten, zum Beispiel für die Reisezeit, den Takt usw. Der Einbezug des natürlichen Logarithmus bewirkt eine Verkleinerung der Erreichbarkeitsunterschiede. Der Logarithmus verkleinert den positiven Effekt des $(n+1)$ -ten Bezirks gegenüber des n -ten Bezirks. Der Hintergrund dieser bewussten mathematischen Anpassung ist der abnehmende Grenznutzen.

Abbildung 7 Erreichbarkeit als Funktion der generalisierten Kosten (Anzahl Aktivitätsgelegenheiten = konstant)

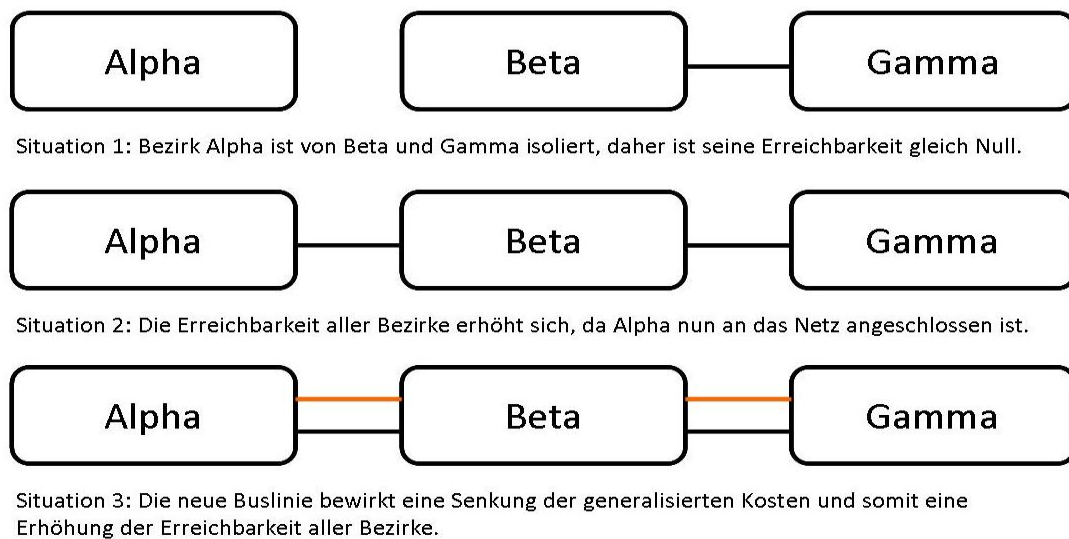


Je grösser der Wert ausfällt, desto «attraktiver» ist ein Ort. Er besitzt dann entweder zahlreiche Aktivitätsgelegenheiten, sehr viele sowie schnelle Verbindungen zu anderen Orten oder beides. In unseren Untersuchungen arbeiten wir mit der Erreichbarkeit pro Bezirk, wobei in unserem kleinräumigen Modell ein Bezirk eine Gemeinde darstellt (vgl. Kapitel 3.2.1). Das Zürcher-Modell (s. Kapitel 3.3) ist etwas detaillierter aufgeteilt. Eine Gemeinde beinhaltet dort meistens mehr als einen Bezirk.

3.1.2 Beispiel

Ein Beispiel soll die Erreichbarkeit veranschaulichen und einen Kontext zu unserem Modell herstellen: Angenommen, es gibt drei Bezirke Alpha, Beta und Gamma. Jeder Bezirk hat eine bestimmte Anzahl Wohn- und Arbeitsplätze. Die Bezirke sind punktförmig und die Bewohner dieser Bezirke haben ihren Arbeitsplatz nicht im Bezirk, in dem sie wohnen, d. h., es existiert keine Mobilität innerhalb eines Bezirks. Die «Eigenerreichbarkeit» ist somit gleich Null.

Abbildung 8 Illustration zu den im Beispiel beschriebenen Situationen.



Situation 1: Die Bezirke Beta und Gamma sind miteinander durch einen Fussweg verbunden. Ist nun der Bezirk Alpha nicht an die beiden anderen Bezirke angebunden und somit völlig isoliert, hat er Erreichbarkeit Null. Vom Bezirk Beta sind aber die Aktivitätsgelegenheiten in Bezirk Gamma zu Fuss erreichbar und umgekehrt, darum ist die Erreichbarkeit von Beta und Gamma grösser Null.

Situation 2: Wird der Bezirk Alpha jetzt durch einen Fussweg an das Gesamtsystem angebunden, wird die Erreichbarkeit von Alpha positiv. Einerseits wächst sie in Abhängigkeit der nun erreichbaren Aktivitätsgelegenheiten in Bezirken Beta und Gamma, andererseits in Abhängigkeit der generalisierten Kosten, die eine Reise zu Fuss beansprucht. Auch die Erreichbarkeit von Beta und Gamma erhöht sich: Je höher die Anzahl Aktivitätsgelegenheiten in Alpha und je tiefer die generalisierten Kosten zum Bezirk Alpha, desto mehr steigt die Erreichbarkeit von Bezirk Beta und Gamma an. Da Gamma weiter von Alpha entfernt ist als Beta, wird die Erreichbarkeit von Bezirk Beta mehr steigen als diejenige von Gamma.

Situation 3: Richtet nun ein Unternehmen eine Buslinie ein, die zwischen Alpha, Beta und Gamma verkehrt, verkürzt sich die Reisezeit zwischen diesen drei Bezirken stark, weil der Bus die Distanzen in kürzerer Zeit zurücklegt als ein Mensch zu Fuss. Die generalisierten Kosten sinken somit, was einen Anstieg der Erreichbarkeit aller drei Bezirke bewirkt. Würde zusätzlich noch eine Bahnlinie eingerichtet werden, stiegen der Komfort und die Anzahl Reisemöglichkeiten zwischen den Bezirken an, was eine weitere Reduktion der generalisierten

Kosten bedeuten würden – die Erreichbarkeit nähme noch mehr zu. Auch ein Ausbau der Aktivitätsgelegenheiten bewirkt einen positiven Effekt auf die Gesamterreichbarkeit.

3.1.3 Linienerreichbarkeit

Die Definition der Erreichbarkeit bezieht sich auf einen Ort, bzw. Bezirk. Dies nützt uns aber nichts, wenn wir diesen Parameter für die Einnahmenverteilung gebrauchen wollen. Viel mehr brauchen wir eine liniengenaue Definition, um den Erreichbarkeitsbeitrag einer jeden ÖV-Linie berechnen zu können. Ist dieser Beitrag schliesslich quantifiziert, können anhand dessen die Einnahmen aufgeteilt werden.

Eine praxistaugliche, eindeutige Definition für die Linienerreichbarkeit zu finden, mit deren Hilfe ein Verfahren zur Bestimmung derselben impliziert werden kann, entpuppt sich als schwierig. Bei der Erreichbarkeit kommt erschwerend der Umstand dazu, dass sie sich nicht linear verhält. Der Beitrag jeder Linie ändert sich je nach Betrachtungsweise. Angenommen, ein System mit vier Linien besitzt die Gesamterreichbarkeit 100. Wenn wir nun weiter annehmen, dass eine Linie ausser Betrieb genommen wird und die Erreichbarkeit des Gesamtsystems dadurch um zehn Prozent abnimmt, dann könnte der Eindruck entstehen, dass der Erreichbarkeitsbeitrag der stillgelegten Linie 10 war. Geht man aber den umgekehrten Weg und schaltet die anderen drei Linien aus, dann wird für das System nicht Erreichbarkeit 10 übrig bleiben.

Beide erwähnten Betrachtungsweisen bildeten aufgrund ihrer einfachen Implementierbarkeit gute Ansätze, um mit unseren Untersuchungen zu starten. Wir verwendeten somit zwei Varianten:

- Variante 1: Die Linienerreichbarkeit wird als Summe der Erreichbarkeiten aller Haltestelleneinzugsgebiete, die von der betrachteten Linie bedient werden, berechnet. Die entsprechenden Aktivitätsgelegenheiten werden nicht gewichtet, ein Wohnplatz entspricht also beispielsweise einem Arbeitsplatz. Somit wird jede einzelne ÖV-Linie eines Verbundes als isoliertes System betrachtet und die Erreichbarkeit derselben einzeln ausgewertet.
- Variante 2: Die Linienerreichbarkeit ist die Differenz der ÖV-Gesamterreichbarkeit des Verbundes (mit allen Linien) minus der ÖV-Gesamterreichbarkeit des Verbundes ohne die Linie selbst. Die ÖV-Gesamterreichbarkeit wird somit als erstes berechnet und als Referenzzustand gespeichert. Sie bezeichnet die Summe der Erreichbarkeiten aller Orte im Verbund, wobei nur ÖV-Linien zur Fortbewegung zugelassen sind. Danach wird jeweils vom Referenzzustand genau eine Linie gewählt und inaktiv gesetzt. Vom resultierenden Zustand wird erneut die ÖV-Gesamterreichbarkeit berechnet und die Differenz zum Referenzzustand als Linienerreichbarkeit der entsprechend als inaktiv gesetzten Linie gespeichert.

Die Einnahmenverteilung soll dann wie folgt durchgeführt werden:

$$\text{Erlös}_{\text{Linie } i} = \text{Gesamterlös} \cdot \frac{\text{Linienreichbarkeit}_{\text{Linie } i}}{\sum_i \text{Linienreichbarkeit}_{\text{Linie } i}}$$

Mithilfe einer Plausibilitätsprüfung wollten wir entscheiden, mit welcher Methode wir zukünftig arbeiten wollten. Leider führten jedoch beide Varianten zu Problemen, welche bei entsprechenden Untersuchungen in den folgenden Kapiteln genau erläutert werden.

3.2 Testumgebung in PTV Visum

Um einen Vorschlag zur Einnahmenverteilung anhand des Erreichbarkeitsbeitrags einer Linie zu entwickeln, erstellten wir im Verkehrssimulationsprogramm PTV Visum zuerst ein kleinräumiges Modell. Visum bietet unzählige Möglichkeiten zur Modellierung und Analyse von Verkehrssituationen, weshalb es sich das Programm optimal eignete, um verschiedene Ansätze zur Erreichbarkeit zu testen und darzustellen. Ausserdem wurde uns später das in Visum programmierte Modell des Kantons Zürich zur Verfügung gestellt, um unsere Ansätze auf einer praxisnahen und deutlich komplexeren Ebene überprüfen zu können (s. Kapitel 3.3).

3.2.1 Methodik zur Gestaltung der Testumgebung

Dieses Kapitel soll einen allgemeinen Überblick zur Gestaltung eines ÖV-Netzes in Visum vermitteln. Die resultierende Testumgebung ist im folgenden Kapitel 3.2.2 beschrieben.

Die Grundlage eines ÖV-Netzes kann aus Knoten und Kanten aufgebaut werden. Die Kanten stehen für durch Busse benutzte Strassen sowie Bahnstrecken und verbinden Knoten. Auf Knoten können Haltestellen gesetzt werden, welche auch als Umstiegspunkte dienen können. Wir begannen mit dem Einfügen von 38 Knoten. Diese verbanden wir mit beidseitig befahrbaren Kanten so, dass wir später S-Bahn- sowie Buslinien auf dem Netz verkehren lassen konnten.

Um S-Bahnen überhaupt abbilden zu können, mussten wir einen neuen Verkehrsmodus Z (Zug) einführen – der Bus-Modus B ist in den Standardeinstellungen bereits vordefiniert. Anschliessend galt es, die Kanten für die entsprechenden Verkehrsmittel freizuschalten sowie die Parameter für die Fahrzeit zwischen den Knoten, die Standardwendezeit und die Standardhaltezeit zu definieren. Auf den Knoten fügten wir Haltestellen- sowie Haltepunkte ein und benannten diese nach einer realen Station, um die Übersicht zu gewährleisten.

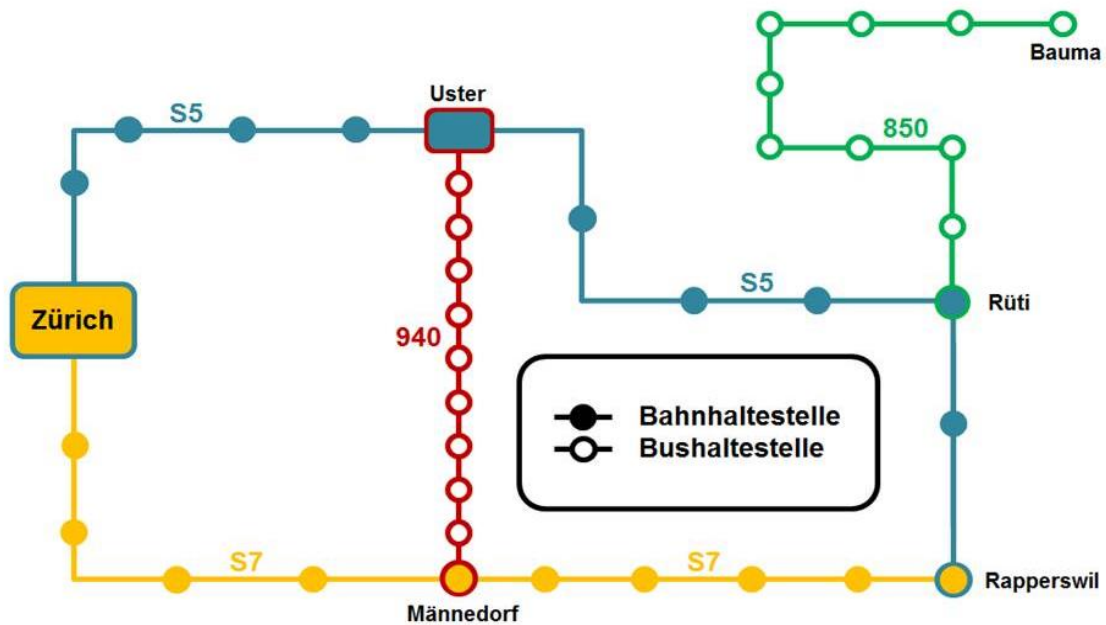
Zu jeder Haltestelle definierten wir anschliessend einen Bezirk. In der Bezirksliste fügten wir zwei neue Parameter, nämlich Wohn- und Arbeitsplätze, ein, welche die Aktivitätsgelegenheiten repräsentieren sollten. Die Zellen füllten wir mit zweckvollen Werten. Das bedeutet, dass diese auf keinen konkreten Grundlagen basieren, sondern qualitativ abbilden sollten, dass an Bushaltestellen weniger Aktivitätsgelegenheiten bestehen als an Bahnhöfen, was auf kleinere Einzugsgebiete und tiefere Attraktivität zurückzuführen ist. Zudem bestimmten wir zwei Zentren, die eine grössere Anzahl an Aktivitätsgelegenheiten aufweisen sollten.

Danach definierten wir die Anbindungen direkt von allen Bezirken zu den entsprechenden Haltestellen. Auf den Anbindungen wurde nur der ebenfalls bereits vordefinierte Modus F (Fussweg) zugelassen. Die Zugangszeit wurde zur Vereinfachung überall auf 0 Minuten gesetzt, was punktförmige Bezirke suggeriert. Wir definierten dann vier Linien mit gleichem Hin- und Rückweg durch Verbinden der entsprechenden Haltestellen und fügten im Fahrplanneditor Taktfahrten im 30min-Intervall ein. Die Fahrplangestaltung sollte zu möglichst effizienten Umstiegszeiten zwischen den einzelnen Linien führen.

3.2.2 Charakteristiken der Testumgebung

Unsere Testumgebung besteht aus zwei S-Bahn-Linien und zwei Buslinien. Wir orientierten uns dabei am rechten Zürichseeufer, das Modell ist aber trotz grosser Ähnlichkeit zur Realität als komplett fiktiv anzusehen und erlaubt keine Schlüsse auf die reale Umgebung (vgl. Abbildung 9). Die S-Bahnen S5 und S7 fahren über zwei verschiedene Wege von der Haltestelle «Zürich (Stadelhofen)» nach «Rapperswil», wobei die S5 total zwölf Haltestellen bedient und die S7 total zehn. Die Buslinie 940 verbindet die Haltestelle «Männedorf» der S7 und die Haltestelle «Uster» der S5 mit Zwischenhalt an neun Haltestellen. Die Buslinie 850 fährt von der Haltestelle «Rüti» der S5 via acht Zwischenstationen zur Endhaltestelle «Bauma». Diese ist bewusst durch keine andere Linie erschlossen, um später Unterschiede in der Einnahmenverteilung zwischen Verbindungs- und Stichstrecken evaluieren zu können. Ein weiterer Hintergrundgedanke bestand darin, den Effekt zu beobachten, falls die Linie S5 inaktiv gesetzt wird: Dann nämlich besteht das ÖV-System aus zwei isolierten Subsystemen, was in einer wesentlich tieferen Gesamterreichbarkeit resultieren sollte.

Abbildung 9 Dieses in PTV Visum implementierte Liniennetz bildete die Grundlage unseres Testnetzes.



Jedem Bezirk wurde die Anzahl Arbeitsplätze und Wohnplätze wie folgt zugewiesen: Bei Bahnhaltstellen wählten wir 5'000 Wohnplätze und 900 Arbeitsplätze. Bei Bushaltstellen setzten wir 400 Wohnplätze und 30 Arbeitsplätze in den Einzugsbereich. Zürich bildeten wir mit 20'000 Wohnplätzen und 85'000 Arbeitsplätzen bewusst etwas grösser ab. Auch Uster repräsentiert mit 10'540 Wohnplätzen und 26'000 Arbeitsplätzen ein regionales Zentrum. Die Summe aller Wohnplätze entspricht der Summe der Arbeitsplätze.

Tabelle 3 Folgende Parameter charakterisieren die Testumgebung.

Parameter	S5	S7	Bus 850	Bus 940
Anzahl Haltestellen	12	10	10	11
Haltestellenabstand [min]	2	2	3	3
Standardhaltezeit [s]	30	30	10	10
Standardwendezeit [min]	5	5	1	1
Takt [min]	30	30	30	30

Die Linien verkehren zwischen 5 Uhr morgens und 23:30 Uhr abends alle im Halbstundentakt. Zwischen 23:30 Uhr und 5 Uhr verkehren keine Kurse. Die Anschlüsse stimmten wir so ab, dass an den Knoten Uster, Rüti und Männedorf jeweils ein guter Anschluss zwischen Bus und Bahn besteht. Nur von der Buslinie 940 resultierten in Männedorf Richtung Rapperswil etwas ungünstige Wartezeiten. Weitere Parameter sind der Tabelle 3 zu entnehmen.

3.2.3 Basisuntersuchung

Mithilfe der beschriebenen Testumgebung berechneten wir als erstes die ÖV-Erreichbarkeit jedes Bezirks. Dazu modifizierten wir die in Kapitel 3.1.1 beschriebene Formel zu:

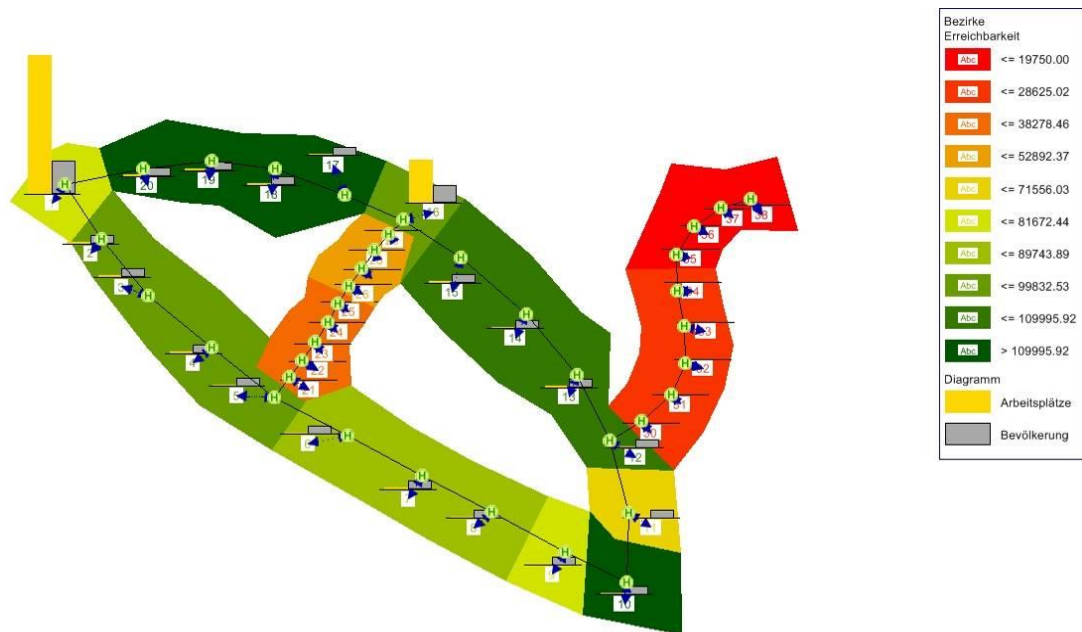
$$E_i = \ln \left(\sum_{j=1}^n A_j \cdot e^{-0.1 \cdot c_{ij}} \right)$$

Dabei bezeichnet A_j die Summe der Aktivitätsgelegenheiten (im Modell Arbeitsplätze plus Wohnplätze) im Bezirk j . Um den Überblick zu bewahren und allfällige Modellfehler einfacher identifizieren zu können, arbeiteten wir der Einfachheit halber zu Beginn nur mit der Reisezeit als generalisierte Kosten c_{ij} und wählten die Gewichtung β als -0.1.

Visum kann unter den in der Testumgebung definierten Parametern im Verfahrensablauf ÖV-Kenngrössenmatrizen berechnen, darunter auch die Reisezeitmatrix, die die Werte für c_{ij} direkt beinhaltet. Diese Funktion nutzten wir und kopierten die sich ergebende Matrix in Excel, wo wir gemäss obiger Formel die Erreichbarkeit für jeden Bezirk berechneten. Wir bemerkten, dass Visum Fahrgäste nicht immer über den kürzesten Weg lenkt. Falls die Summe der Fahrzeit in allen Fahrzeugen (ohne Berücksichtigung der Umstiegswartezeit) über einen anderen Weg kleiner ist als bei der fahrplantechnisch optimalsten Variante, wird ein kleiner Anteil der Verkehrsströme über die Alternativvariante geschickt. Uns störte dies nicht, da Visum durch dieses Verfahren den günstigeren Fahrpreis über die kürzere Strecke berücksichtigt, welcher ein paar wenige Leute zur Benützung des längeren Weges animiert.

In Visum definierten wir einen neuen Parameter Erreichbarkeit und kopierten die erhaltenen Werte in die entsprechende Spalte der Liste Bezirke. Mithilfe der Grafikparameter-Tools färbten wir die Bezirke entsprechend ihrer Erreichbarkeit in zehn unterschiedlichen, von rot bis grün reichenden Klassen ein. Um die Unterschiede grafisch zu verdeutlichen, wählten wir zur Klasseneinteilung die Methode «natural breaks». Zusätzlich stellten wir die Aktivitätsgelegenheiten durch Säulendiagramme dar (vgl. Abbildung 10).

Abbildung 10 Resultat der Basisuntersuchung ohne Berücksichtigung der Eigenreichbarkeit sowie ohne Einbezug der In-Funktion.



In ungeeignet

Die sich aus der Basisuntersuchung ergebenden ÖV-Erreichbarkeiten der Bezirke besaßen Werte zwischen 6 und 12. Der höchste Wert ist also nur doppelt so hoch wie der geringste. Wird hingegen der natürliche Logarithmus ignoriert, so resultieren absolute Werte zwischen 400 und 100'000. Diese grosse Spannweite widerspiegelt die grossen Unterschiede der Anzahl Aktivitätsgelegenheiten deutlich besser als die Berechnung mit dem ln, welche zusätzlich folgende Probleme verursacht:

- Die Einrichtung vieler kleiner Haltestellen wird gefördert. Selbst wenn diese völlig abseits der Zivilisation liegen und somit nur wenige Aktivitätsgelegenheiten aufweisen, ergeben sich hohe Erreichbarkeiten: Zwei bis drei kleine Haltestellen im Nirgendwo führen zum gleichen oder gar höheren Linienreichbarkeitsbeitrag wie eine grosse, im städtischen Gebiet gelegene Haltestelle. Somit bevorzugt der ln die Installation von Buslinien mit überproportional vielen Haltestellen.
- Diejenigen Linien, welche viel zur Gesamterreichbarkeit des Systems beitragen, werden zu wenig entschädigt. Profit daraus schlagen Linien, welche in entlegenes Gebiet führen – sie werden überproportional stark gefördert.
- In der Beitragsberechnung (s. unten) resultiert für alle im Verbund betriebenen Linien ungefähr derselbe Betrag, hier im Testmodell also etwa 25%-Einnahmenanteil für jede der vier Linien. Dies widerspricht dem gesunden Menschenverstand.

- Verbunde weisen viele Linien auf. Darum ist es nicht opportun, wenn schon nach wenigen Linien kaum mehr Nutzen entsteht. Der abnehmende Grenznutzen ist zu hoch gewichtet, die Verwendung eines Logarithmus mit tieferer Basis könnte allenfalls geprüft werden. Diese Untersuchung ist aber nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Deshalb änderten wir die allgemeine Berechnungsformel zu:

$$E_i = \sum_{j=1}^n A_j \cdot e^{\beta \cdot c_{ij}}$$

Eigenerreichbarkeit ungeeignet

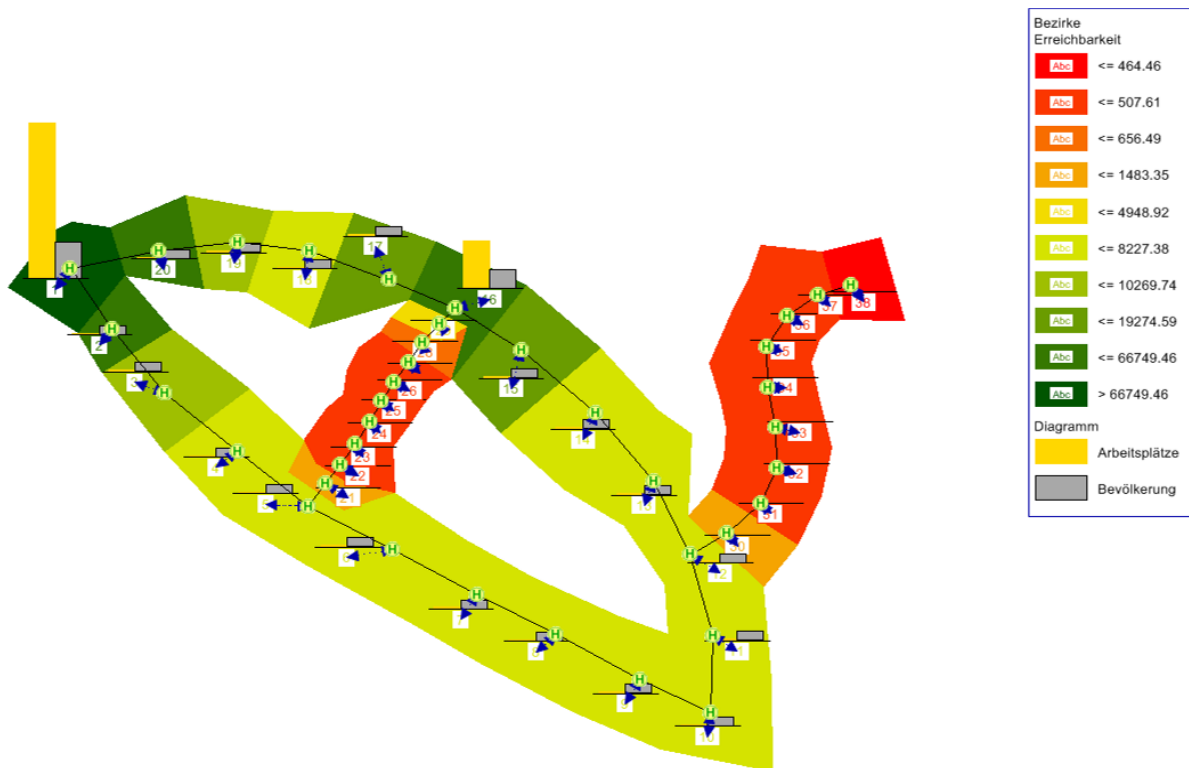
Der Erreichbarkeitsbeitrag, der durch die Berücksichtigung des eigenen Bezirks unter voller Gewichtung ($c_{ii} = 0$) der eigenen Aktivitätsgelegenheiten entsteht, darf nicht berücksichtigt werden. Der Grund dafür liegt auf der Hand: Die Eigenerreichbarkeit wird durch Mobilität innerhalb des Bezirks verursacht. Da wir die Bezirke als punktförmig (mit je nur einer Haltestelle) modelliert haben, wird für bezirksinterne Mobilität das ÖV-Liniennetz aber nicht benötigt. Unser Interesse gilt jedoch ausschliesslich derjenigen Erreichbarkeit, welche durch das ÖV-System generiert wird.

Abbildung 11 verdeutlicht das Problem. Mit Berücksichtigung der Eigenerreichbarkeit besitzt der Bezirk Zürich (ganz links) die mit Abstand höchste ÖV-Erreichbarkeit. Diese resultiert jedoch nur, weil Zürich die meisten Aktivitätsgelegenheiten aufweist. Diese vom eigenen Bezirk aus zu erreichen, erfordert aber nicht die Benützung des ÖV-Systems, so dass die Eigenerreichbarkeit bei der Berechnung ignoriert werden muss. Das entsprechende Resultat zeigt Abbildung 10.

Die allgemeine Berechnungsformel nimmt darum fortan folgende Gestalt an:

$$E_i = \sum_{j=1}^n (A_j \cdot e^{\beta \cdot c_{ij}}) | j \neq i$$

Abbildung 11 Resultat der Basisuntersuchung mit Berücksichtigung der Eigenerreichbarkeit sowie ohne Einbezug der In-Funktion.



Beitragsberechnung

Nun galt es, die Einnahmen entsprechend der in Kapitel 3.1.3 beschriebenen Methodik zu verteilen. Dabei resultierten die in Tabelle 4 ersichtlichen Zuschreibungen.

Tabelle 4 Bei Anwendung der beiden Varianten ergeben sich unterschiedliche Erlöszuschreibungen je Linie.

Varianten	S5	S7	Bus 850	Bus 940
Variante 1	53.5%	36.8%	1.8%	7.9%
Variante 2	47.9%	32.9%	6.1%	13.1%

Wir resümieren die Methodik und schlussfolgern aus den erhaltenen Resultaten Probleme der einzelnen Varianten.

Variante 1: Der einfachere Weg besteht darin, nur eine Linie zu betrachten und alle anderen auszuschalten. Damit ergibt sich der Erreichbarkeitsbeitrag der betrachteten Linie ähnlich wie im Beispiel unter Kapitel 3.1.2 aus den Summen der Erreichbarkeiten der Bezirke, die durch die Linie angebunden sind. Der Vorteil liegt in der simplen und rasch durchführbaren Berechnung der Linienerreichbarkeit.

Für die Praxis ist dieser Ansatz leider dennoch ungeeignet, denn er berücksichtigt den Systemzusammenhang nicht. Wenn der Ansatz so in einem Verbund angewendet wird, fehlt der Anreiz, eine neue Linie optimal an das bestehende System anzubinden, weil die Erreichbarkeit durch Umstiegsvorgänge in das restliche Netz komplett ignoriert wird. Eine völlig isolierte Linie könnte somit trotz praktisch fehlender Attraktivität mit einem hohen Einnahmenanteil bestückt werden.

Zusätzlich werden die Anzahl Aktivitätsgelegenheiten massiv überbewertet, so dass im peripheren Gebiet endende Stichlinien wie die Buslinie 850 kaum Einnahmen erhalten. Somit besteht kein Anreiz an Verkehrsunternehmen, die Netzabdeckung des Verbundgebietes zu erhöhen.

Variante 2: Der komplexere Weg arbeitet mit dem Ausschalten von Linien. Aus der Differenz zwischen der Erreichbarkeit in der Ausgangslage mit allen Linien und der neuen Erreichbarkeit ohne die vorübergehend stillgelegte Linie ergibt sich der Erreichbarkeitsbeitrag der ausgeschalteten Linie. Der Vorteil besteht in der Berücksichtigung des Gesamtsystems: Bei Variante 1 erhält die S5 nur deshalb den höchsten Einnahmenanteil, weil sie am meisten Aktivitätsgelegenheiten bedient (Zürich und Uster besitzen besonders viele Arbeits- und Wohnplätze). Jetzt erhält sie hingegen die grösste Erlöszuscheidung, weil ohne sie zwei isolierte Systeme (eines mit den Linien S7 und 940 und das andere mit der Buslinie 850) entstehen würden. Gewissermassen wird also der Systembeitrag der S5 gewürdigt. Des Weiteren wird am nun akzeptierbaren Einnahmenanteil der Buslinie 850 ersichtlich, dass Variante 2 dem «Service public» besser gerecht wird: Verkehrsunternehmen erhalten einen Anreiz, Linien in durch den ÖV noch unerschlossenes Gebiet zu erstellen.

Durch den Einbezug aller Linien ist die Berechnung jedoch komplexer und rechenintensiver, was vor allem bei grossen Systemen möglicherweise Probleme herbeiführt. Besteht ein Netz aus 100 Linien, muss 100-mal die ÖV-Erreichbarkeit eines aus 99 Linien bestehenden Netzes berechnet werden, was zu sehr vielen Rechenschritten führen kann.

Aufgrund der gewichtigen Probleme der Variante 1 entschieden wir uns, den ersten Ansatz zu verwerfen und für folgende Untersuchungen bei der Erlöszuscheidung mit Variante 2 zu rechnen.

Der Einfluss des Gewichtungsfaktors β

Als nächstes beschäftigten wir uns mit den Auswirkungen des Gewichtungsfaktors β . Welche Einflüsse bestehen auf die Einnahmenaufteilung, wenn dieser statt -0.1 die Werte -0.01 und -0.5 annimmt? Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse.

Tabelle 5 Einnahmenaufteilung in Abhängigkeit des Beta-Parameters.

β	S5	S7	Bus 850	Bus 940
-0.01	42.3%	24.2%	15.9%	17.6%
-0.1 (Referenzzustand)	47.9%	32.9%	6.1%	13.1%
-0.5	54.7%	38.3%	1.6%	5.4%

Die ÖV-Erreichbarkeit nimmt beim β -Wert -0.01 insgesamt zu, der Grössenbereich der einzelnen Bezirkserreichbarkeiten wird ähnlich wie bei der Berücksichtigung der ln-Funktion gestaucht. Deshalb nähern sich die Einnahmenanteile dem Durchschnitt von 25% an. Die Grösse der Aktivitätsgelegenheiten fällt weniger ins Gewicht, die Erschliessung von Gebieten sowie das Betreiben von Buslinien gewinnt an Attraktivität.

Nimmt der Absolutbetrag des β -Wertes zu, so tritt das Gegenteil ein: Die ÖV-Erreichbarkeit sinkt bei $\beta = -0.5$ auf einen Zehntel verglichen mit dem Referenzzustand. Orte mit wenigen Aktivitätsgelegenheiten tragen kaum mehr zur Gesamterreichbarkeit bei, weshalb die S-Bahn-Linien zu Lasten der Buslinien von einem höheren Einnahmenanspruch profitieren.

Differenzierung der generalisierten Kosten

Schritt für Schritt und immer auf Nachvollziehbarkeit und Plausibilität bedacht bauten wir die Berechnungsschritte behutsam aus. Visum ermöglicht die Ausgabe sämtlicher benötigter Kennzahlen für eine genauere Unterteilung der generalisierten Kosten. In einer nächsten Erreichbarkeitsberechnung teilten wir diese daher auf. Statt der Gesamtreisezeit berücksichtigten wir den Takt (T), die Anfangswartezeit des Fahrgasts (AWT), die «In vehicle time» (IVT, Fahrzeit im Fahrzeug) für Bus und Zug, die Umsteigehäufigkeit (U) und die Umsteigewartezeit (UW). Für die durchschnittliche Anfangswartezeit nahmen wir für den Halbstundentakt vorerst 8 Minuten an. Da die Fahrgäste Fahrplankenntnisse besitzen, kann bei hohen Taktintervallen nicht mehr von einer Uniformverteilung der an einer Haltestelle ankommenden Personen gerechnet werden. Die generalisierten Kosten berechneten sich somit aus

$$\sum \beta_k c_k = \beta_T \cdot c_T + \beta_{AWT} \cdot c_{AWT} + \beta_{IVT} \cdot c_{IVT} + \beta_U \cdot c_U + \beta_{UW} \cdot c_{UW}$$

daraus folgt die Erreichbarkeit für den Bezirk i als

$$E_i = \sum_{j=1}^n \left(A_j \cdot e^{\sum \beta_k \cdot c_{k,j}} \right) | j \neq i$$

Die benötigten Beta-Parameter entnehmen wir aus Vrtic und Fröhlich (2006, Tabelle 6).

Tabelle 6 Beta-Parameter nach Vrtic und Fröhlich (2006)

β	β_T	β_{IVT}	β_U	β_{AWT}
Wert	-0.446	-0.609	-0.304	-2.093

Der hohe Wert für β_{AWT} erklärt sich dadurch, dass Vrtic und Fröhlich (2006) die Zugangszeit in die Anfangswartezeit miteinbezogen haben. Da diese bei uns als Null betrachtet wurde, spielte die hohe Gewichtung aber keine wesentliche Rolle. Die Gewichtung für die Umstiegswartezeit konnten wir nur indirekt schätzen, indem wir die Zeitwerte zwischen dem Intervall (5.1 CHF pro Stunde), der Umsteigezeit (2.3 CHF pro Stunde) und dem Umsteigewert (1.9 CHF pro Stunde) verglichen. Dieses Verhältnis bildeten wir zwischen β_T , β_{UW} und β_U , was einen Wert von -0.322 resultieren liess.

Leider wurden die Komfortunterschiede zwischen Bus und Bahn zu wenig genau evaluiert, vermutlich weil ein grundlegender Attraktivitätsvorteil der Bahn aufgrund des grösseren Platzangebots und der tieferen Haltestellendichte (= grössere Reisegeschwindigkeit) angenommen wurde. Deshalb verzichteten wir auf eine unterschiedliche Gewichtung der IVT zwischen Bus und S-Bahn.

Die benötigten Werte der generalisierten Kosten konnten in Visum durch Berechnung entsprechender Kenngrössenmatrizen (Fahrzeit im Fahrzeug, Umsteigehäufigkeit, usw.) berechnet werden. Diese Matrizen kopierten wir wiederum in Excel, wo wir das Berechnungsverfahren entsprechend anpassten. Anschliessend führten wir erneut die Beitragsberechnung durch, die Resultate zeigt Tabelle 7.

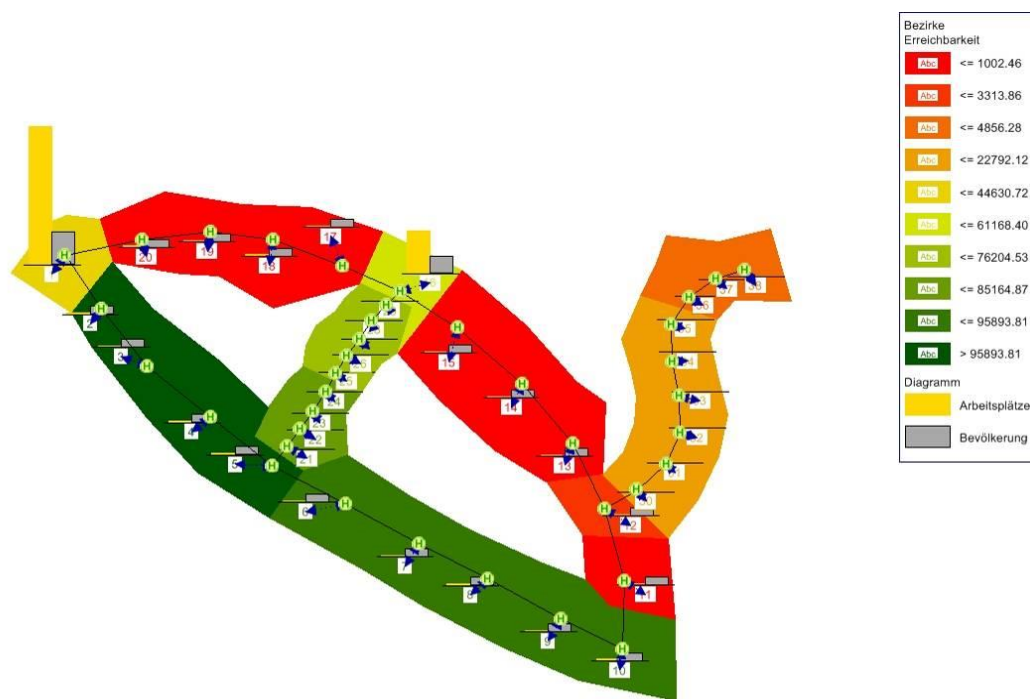
Tabelle 7 Vergleich der Erlöszuscheidungen zwischen Referenzzustand und aufgeteilten generalisierten Kosten.

Zustände	S5	S7	Bus 850	Bus 940
Referenzzustand (nur Reisezeit)	47.9%	32.9%	6.1%	13.1%
Linienreichbarkeit Referenzzustand	1.18 Mio.	0.81 Mio.	0.15 Mio.	0.32 Mio.
Mit detaillierten generalisierten Kosten	43.6%	25.1%	14.2%	17.1%
Linienreichbarkeit (gemäss Variante 2)	2.28 Mio.	1.31 Mio.	0.74 Mio.	0.90 Mio.

Nun fällt auf, dass die Buslinien zu Lasten der S-Bahn-Linien höhere Einnahmenanteile erhalten. Vermutlich kann dies auf die fehlende Gewichtung des besseren Komforts der Bahn zurückgeführt werden. Die S5 verliert allerdings weniger Anteile als die S7. Somit wird weiterhin die Wichtigkeit dieser S-Bahn-Linie zum Anschluss der Buslinie 850 an das Gesamtsystem berücksichtigt (vgl. Abbildung 12). Im Gegensatz dazu erhält die Buslinie 850 deutlich mehr Anteile als die Linie 940. Das Verfahren mit aufgeteilten generalisierten Kosten begünstigt somit periphere Linien und gibt den Verkehrsunternehmen Anreize, weniger dicht besiedeltes Gebiet zu erschliessen.

Die Gesamterreichbarkeit im Referenzzustand beträgt 2.04 Mio. und erhöht sich mit detaillierten generalisierten Kosten auf 3.96 Mio. Dies impliziert, dass die Gewichtungen (Beta-Werte) einen grossen Einfluss auf die Berechnung der Gesamt- und die Linienreichbarkeit ausüben.

Abbildung 12 Wird die Linie S5 inaktiv gesetzt, entstehen zwei voneinander isolierte Liniennetze.



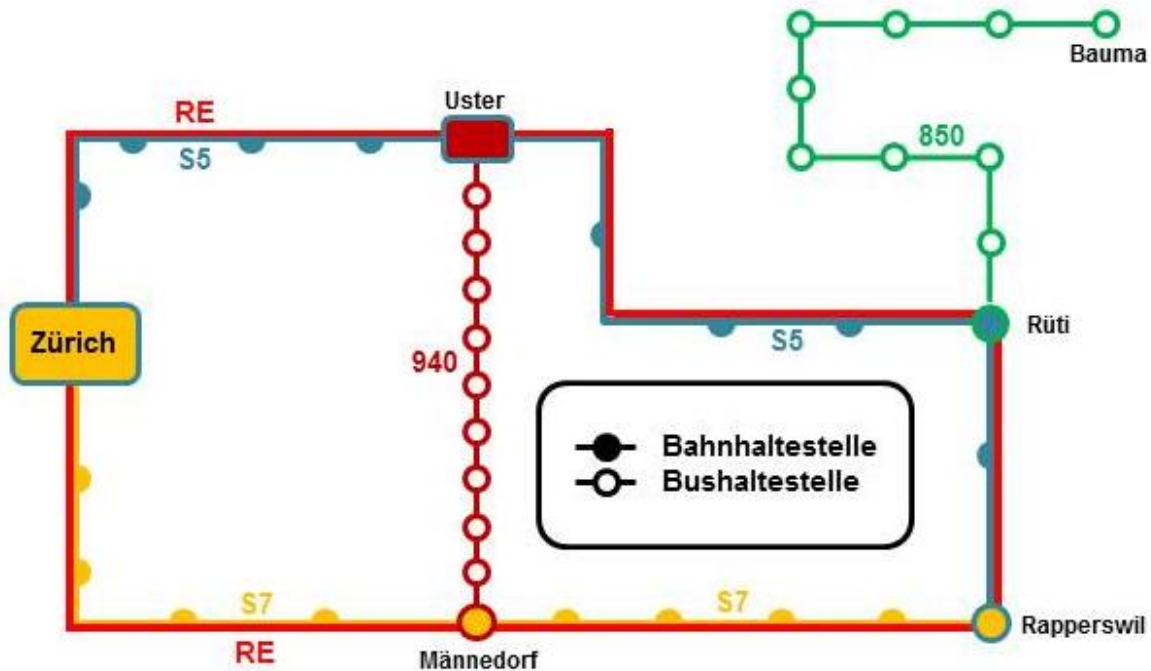
3.2.4 Erweiterte Untersuchungen

Nachdem wir die Berechnungsweise bestimmt hatten, wollten wir untersuchen, wie gut sie Erprobungen unter realitätsnahen Verhältnissen standhält. Wir führten verschiedene Linien mit unterschiedlichen Fahrplänen ein und beobachteten, wie sich die Erreichbarkeiten der Bezirke und die Erreichbarkeitsbeiträge der Linien veränderten. Die Ausgangslage vor jeder Untersuchung ist immer der unveränderte Grundzustand mit den vier Linien S5, S7, 850 und 940.

Zusätzliche Schnelllinie (Regioexpress)

Um zu analysieren, wie sich die Verteilung ändert, wenn eine Schnelllinie mit Halt nur an den wichtigsten Haltestellen eingeführt wird, fügten wir eine Ringlinie hinzu, die jeweils in beide Richtungen Zürich Stadelhofen mit Uster, Rüti, Rapperswil und Männedorf verbindet. Auf den Strecken zwischen Rapperswil, Männedorf, Zürich Stadelhofen und Uster legten wir die Fahrzeit auf 5 Minuten fest, zwischen Uster, Rüti und Rapperswil sogar auf 3 Minuten, um die Reisezeiten bewusst stark zu verkürzen. Den Fahrplan gestalteten wir so, dass in Rüti ein guter Anschluss zum Bus 850 besteht.

Abbildung 13 Liniennetz mit Regioexpress



Der Regioexpress verkürzte die aufsummierte Reisezeit im System tatsächlich massiv (7.5%, gleich 2790 Minuten). Zwar verlängerten sich einzelne Reisewege um wenige Minuten, weil Visum davon ausgeht, dass eine Minderheit der Fahrgäste auch unattraktive Reiseverbindungen mit langen Umsteigezeiten, aber einer kürzeren und somit günstigeren Reiseroute, wählt. Nichtsdestotrotz war der Effekt auf den Fahrplan somit positiv und erwünscht. Anders verhielt es sich bei der Erreichbarkeit. Die totale Erreichbarkeit erhöhte sich nur um 1.6% auf 4.03 Millionen. Auch die Beitragsberechnung zeigte keine zufriedenstellenden Resultate. Für den Regioexpress blieben nur gerade 1.4% der Einnahmen. Und auch der Erreichbarkeitsbeitrag der S5 verkleinert sich deutlich (vgl. Tabelle 8).

Tabelle 8 Vergleich der Erlözzuscheidungen zwischen Referenzzustand und Einführung einer Regioexpress-Linie.

Zustände	RE	S5	S7	Bus 850	Bus 940
Ohne RE	–	47.9%	32.9%	6.1%	13.1%
Mit RE	1.4%	32.6%	29.7%	17.2%	19.1%
Linienreichbarkeit	0.06 Mio.	1.52 Mio.	1.39 Mio.	0.80 Mio.	0.89 Mio.

Das Problem, das dahintersteckt, ist das folgende: Würde der Regioexpress wegfallen, garantieren die S-Bahnen weiterhin die Erschliessung der Haltestellen, die der Regioexpress bedient. Somit ist beim Inaktivsetzen der RE-Linie praktisch kein Erreichbarkeitsverlust bemerkbar – die Reisezeitverkürzung müsste deutlich mehr gewichtet werden.

Der Beitrag der S5 sinkt, da sie fortan nicht mehr die einzige Linie bildet, die beim Wegfall eine Entzweitelung des Gesamtsystems bewirken würde: Die RE-Linie würde nach wie vor den Zugang in Rüti zur Buslinie 850 sicherstellen. Aber gerade deshalb müsste der RE in der Beitragsberechnung ein viel grösseres Gewicht erhalten. Die Umverteilungen, die zugunsten der Buslinien ausfallen, sind nicht zu rechtfertigen.

Einführung einer Konkurrenzlinie

Wir wollten auch beobachten, wie sich die Beitragsverteilung ändert, wenn eine Konkurrenzsituation entstehen würde, wenn also ein zweites Unternehmen eine parallele Linie zu einer bestehenden eröffnen würde, die genau die gleiche Leistung erbringt. Wir richteten eine Linie S15 parallel zur S5 ein, die auf gleichem Weg von Zürich Stadelhofen via Uster nach Rapperswil fährt und dabei an allen Stationen hält. Die S15 verkehrt dabei fünfzehn Minuten versetzt zur S5 im Halbstundentakt. Dadurch entsteht auf der Strecke Zürich Stadelhofen-Uster-Rapperswil ein schöner Viertelstundentakt, was positiv für die Reisenden und somit erwünschtes Verhalten der Verkehrsunternehmen ist.

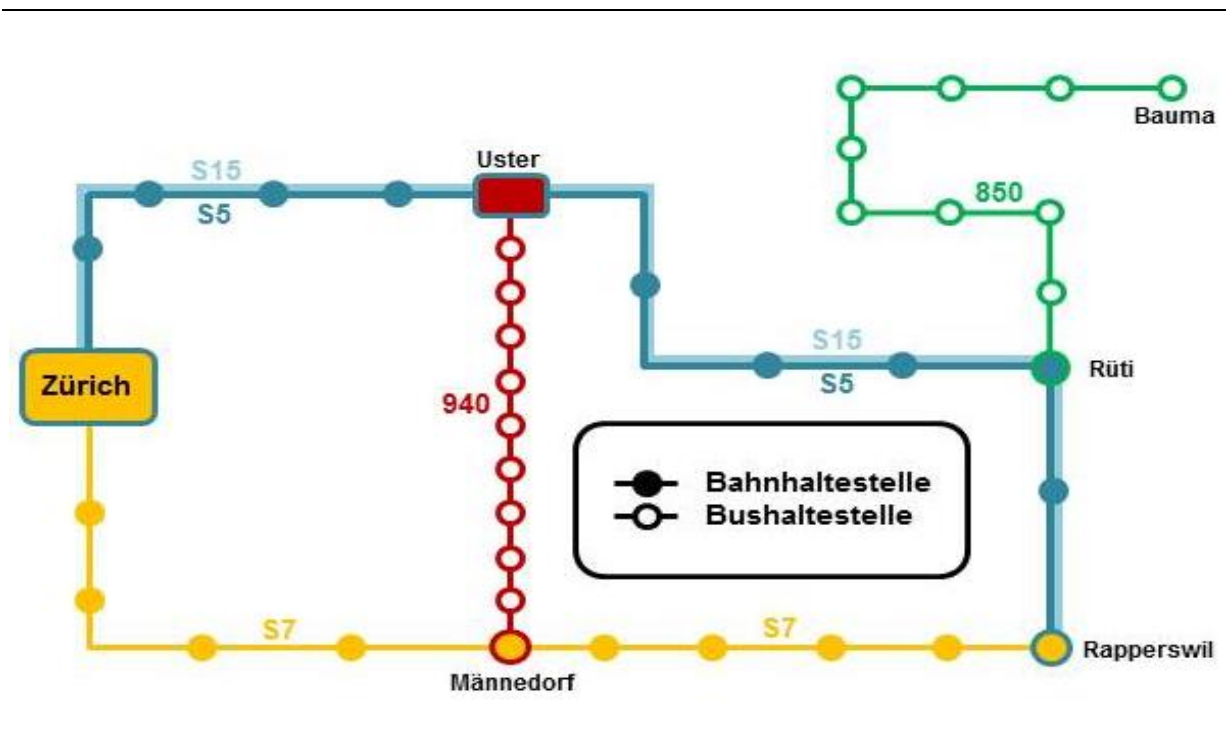
Tabelle 9 Vergleich der Erlözzuscheidungen zwischen Referenzzustand und Einführung einer Konkurrenzlinie.

Zustände	S15	S5	S7	Bus 850	Bus 940
Ohne S15	–	47.9%	32.9%	6.1%	13.1%
Mit S15 (15min versetzt)	0.05%	4.0%	39.2%	25.7%	31.1%
Linienreichbarkeit	1400	0.12 Mio.	1.13 Mio.	0.74 Mio.	0.90 Mio.

Die Gesamterreichbarkeit erhöht sich marginal auf 3.7 Millionen. Leider bildet unser Berechnungsansatz auch dieses positive Verhältnis nicht zufriedenstellend ab. Die S15 erbringt genau die gleiche Leistung wie die S5. Darum verändert sich an der Erreichbarkeit praktisch nichts, wenn eine der beiden Linien ausgeschaltet wird. Dieser Umstand bewirkt, dass der Erreichbarkeitsbeitrag der S5 ins Marginale fällt und der Anteil der S15 praktisch bei null verbleibt (vgl. Tabelle 9). Dass die S15 schlechter abschneidet als die S5, ist einleuchtend, da sie keine guten Anschlüsse auf die Buslinien bietet. Absolut nicht zufriedenstellend ist aber die

Auswirkung der neuen Linie auf die S5 sowie der eigene Erreichbarkeitsbeitrag. Wie schon beim Regioexpress zeigt sich, dass der Berechnungsansatz den Ansprüchen nicht genügt.

Abbildung 14 Liniennetz mit zusätzlicher S-Bahn



Um dieses Problem zu lösen, müsste man die S5 und S15 bei der Berechnung zu einer Linie aggregieren und entsprechend den Takt auf ein 15-Minuten-Intervall ändern. Dadurch müsste sich die Erlöszuscheidung der beiden Linien auf total über 48% erhöhen. Allerdings bleibt ungeklärt, wie die Einnahmen nach Ermittlung des gemeinsamen Anteils zwischen den einzelnen Linien aufgeteilt werden müssten. Wie wir bemerkt haben, stellt nur die S5 gute Anschlüsse an die Buslinien dar – aus diesem Grund müsste die S15 also einen geringeren Anteil als die S5 erhalten. Ein exakter Anteil könnte jedoch nur mithilfe von Fahrgastzählungen und Fahrausweisquerschnitterhebungen ermittelt werden (vgl. Kapitel 2.3.2).

Falls die S15 tatsächlich durch ein Konkurrenzunternehmen betrieben wird, wäre die Aufteilung eine den Verbundgedanken aufgreifende, heikle Frage: Das Unternehmen, welches die S5 betreibt, will keine Einnahmeneinbussen – andererseits wird das neue Unternehmen auf einen ähnlich hohen Einnahmenanteil pochen, da es ja dieselben Betriebskosten aufweist. Gleichzeitig werden die Mehreinnahmen der durch das erweiterte Angebot zusätzlich angelockten Fahrgäste kaum ausreichen, um beiden Bedürfnissen gerecht zu werden. Wer soll nun in den sauren Apfel beißen müssen?

Ein weiteres Problem entsteht bei der Umsetzung dieser Lösungsstrategie in der Praxis: In jedem grösseren Verbund existieren unzählige Teilstrecken, auf denen mehr als nur eine Linie verkehrt. Jede Linienkombination müsste für die entsprechend parallel befahrenen Fahrtabschnitte separat abgerechnet werden, was zahlreiche Iterationen und somit eine sehr aufwendige Berechnung notwendig macht.

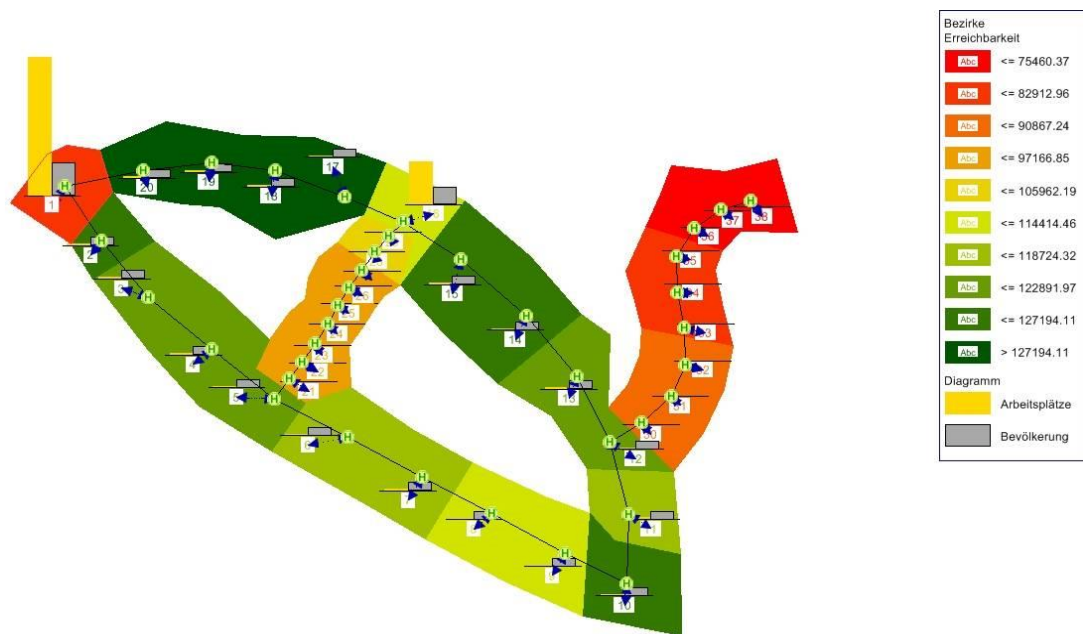
Tabelle 10 Vergleich der Einnahmenverteilung bei Einführung einer unerwünschten Konkurrenzlinie.

Zustände	S15	S5	S7	Bus 850	Bus 940
Ohne S15	–	47.9%	32.9%	6.1%	13.1%
S15 nur 5min versetzt	0.2%	4.3%	39.1%	25.5%	30.9%
Linienreichbarkeit	7100	0.12 Mio.	1.14 Mio.	0.74 Mio.	0.90 Mio.
S15 nur 1min versetzt	0.2%	0.1%	40.7%	26.7%	32.3%
Linienreichbarkeit	5400	1500	1.14 Mio.	0.74 Mio.	0.90 Mio.

Wir führten noch zwei weitere Tests durch, indem wir den Fahrplan der S15 weiter demjenigen der S5 anglichen, d. h. einmal mit fünf Minuten Abstand zur S5 und einmal mit nur einer Minute, sodass beide Linien annähernd gleiche Anschlüsse zu den Buslinien boten. Dies widerspiegelt unerwünschtes Konkurrenzverhalten, bei der ein Konkurrenzunternehmen nur darauf bedacht ist, möglichst kurz vor der bereits bestehenden Linie abzufahren, um die am Bahnhof wartenden Passagiere als erstes mitzunehmen und somit möglichst keine dem nachfolgenden Unternehmen zu überlassen. Obwohl mehr Fahrzeuge im Einsatz stehen, steigt der Nutzen für die Fahrgäste kaum, auch die ÖV-Erreichbarkeit verbessert sich nicht.

Solches Verhalten mag auf den ersten Blick unlogisch erscheinen. Tatsächlich aber schreibt White (2009), dass ebendiese Situation in Grossbritannien in mehreren grösseren Städten schon beobachtet wurde, im Herbst 2007 zum Beispiel in Chester und Preston. Dort liessen Busunternehmen ihre Fahrzeuge stets kurz vor Abfahrt des Konkurrenzfahrzeuges dieselbe Linie befahren. Gar wenn das erste Busunternehmen deutlich höhere Fahrpreise verlangen würde, wären die Leute nur für kurze Zeit gewillt, auf die nachfolgende, günstigere Kursfahrt zu warten. Die Konkurrenzsituation sei aber nicht nachhaltig, d. h. nur über eine kurze Zeitdauer beobachtbar.

Abbildung 15 Nach Inaktivsetzen der S5 ändert sich die Erreichbarkeit in den Bezirken praktisch nicht, wenn die S15 jeweils eine Minute vor der S5 abfährt.



Zurück zu unserer Untersuchung: Das Ergebnis der Erlöszuscheidung wurde durch Verrin-
 gern der Abstände zwischen S5 und S15 noch extremer als zuvor (vgl. Tabelle 10). Bei einer
 Minute Fahrplanunterschied sank der Anteil beider Linien unter 1% – eben genau aus dem
 Grund, dass beim Ausschalten der einen Linie die andere weiterhin die Erreichbarkeit garan-
 tiert (s. Abbildung 15). Um einen zufriedenstellenden Ansatz zu erreichen, ist aber eine kor-
 rekte Berücksichtigung eines solchen Umstandes unerlässlich. Im freien Markt kann jederzeit
 ein Unternehmen eine neue Linie eröffnen und so bestehende konkurrieren. Das Vertei-
 lungsmo-
 dell muss darum solche Konkurrenzverhältnisse möglichst unattraktiv machen und
 im Gegenzug für den Fahrgast erwünschte Verhältnisse wie eine Taktverdichtung entspre-
 chend fördern.

3.3 Berechnungen im Zürcher Modell

Um die Resultate unserer Untersuchungen aus der Testumgebung auf eine höhere, praxisori-
 entierte Ebene umzusetzen, wurde uns das auf Visum basierende Gesamtverkehrsmodell des
 Kantons Zürich (Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Zürich, 2010) zur Verfügung gestellt.
 Dieses Modell enthält alle Fahrplanfahrten des Jahres 2009 aller ÖV-Linien, die den Kanton
 Zürich tangieren, also diejenigen des ZVV sowie des Fernverkehrs. Ähnlich wie in unserer

Testumgebung ist das Modell durch Bezirke aufgebaut, welche hier allerdings mehrere Haltestellen enthalten können. Die Anzahl von über 1'400 Bezirken illustriert die Grössenordnung dieses Modells. Linien verkehren auf Linienwegen von Haltepunkt zu Haltepunkt und verfügen über einen der Praxis entsprechenden Fahrplan. Auch die Haltestellenabstände, Fahrgeschwindigkeiten, Fahrzeiten und zahlreiche weitere Informationen sind detailgetreu modelliert.

Darüber hinaus erhielten wir Strukturdaten zu jedem Bezirk, welche die zur Erreichbarkeitsberechnung benötigten numerischen Werte der Aktivitätsgelegenheiten enthielten. Dazu zählten die genaue Anzahl Arbeitsplätze, Wohnbevölkerung, Freizeitanlagen, Bildungseinrichtungen usw.

3.3.1 Methodik

Zur Berechnung der ÖV-Gesamterreichbarkeit mussten wir das Modell zuerst validieren. Dazu führten wir die mit auf die Schweiz angepassten Parametern voreingestellte ÖV-Umlegung unter Berücksichtigung aller Linien durch. Um wie in der Testumgebung die wichtigsten generalisierten Kosten berücksichtigen zu können, berechneten wir folgende Kenngrössenmatrizen:

- Fahrzeit im Fahrzeug: Summe der Fahrzeit in allen Fahrzeugen, entspricht der IVT
- Umsteigehäufigkeit: Durchschnittliche Anzahl Umstiegsvorgänge vom Ausgang zum Endpunkt
- Umsteigewartezeit: Summe der Wartezeit an allen Umsteigepunkten
- Bedienungshäufigkeit: Anzahl angebotener Fahrten pro Tag

Diese Faktoren wurden mit denselben Beta-Werten wie im Testmodell (s. Kapitel 3.2.3) gewichtet. Die Anfangswartezeit wurde fortan aufgrund ihrer geringen Einflusskraft ignoriert: Luethi, Weidmann und Nash (2007) haben gezeigt, dass der Median der Anfangswartezeit mit abnehmender Takthäufigkeit bei deutlich unter 10 Minuten stagniert. Das bedeutet, dass die meisten Fahrgäste den Fahrplan ihrer benutzten Linien kennen, erst recht, wenn diese einen schlechten Takt aufweisen. Somit variiert die Anfangswartezeit bei der Veränderung des Takt-Intervalls kaum.

Da wir im Zürcher Modell mit einer ungleich grösseren Datenmenge konfrontiert wurden, nahmen die Berechnungen eine längere Zeitspanne in Anspruch. Die resultierenden Kenngrössenmatrizen kopierten wir in Excel und berechneten dort analog wie in der Testumgebung die Erreichbarkeit für jeden Bezirk. Der einzige Unterschied bestand darin, dass wir die Eigenreichbarkeit der Bezirke berücksichtigt haben. Dies war notwendig, da aufgrund meh-

rerer Haltestellen in den Bezirken die interzonale Mobilität auch mit dem ÖV erfolgen kann, wohingegen unsere Testumgebung für jeden Bezirk genau eine Haltestelle vorsah und bezirksintern somit nur LV möglich war. Jede Matrix umfasste etwa 2 Millionen Einträge, so dass auch Excel mit dieser Unmenge an Daten an seine Grenze stiess. So mussten wir die Berechnung in mehrere Dokumente aufteilen.

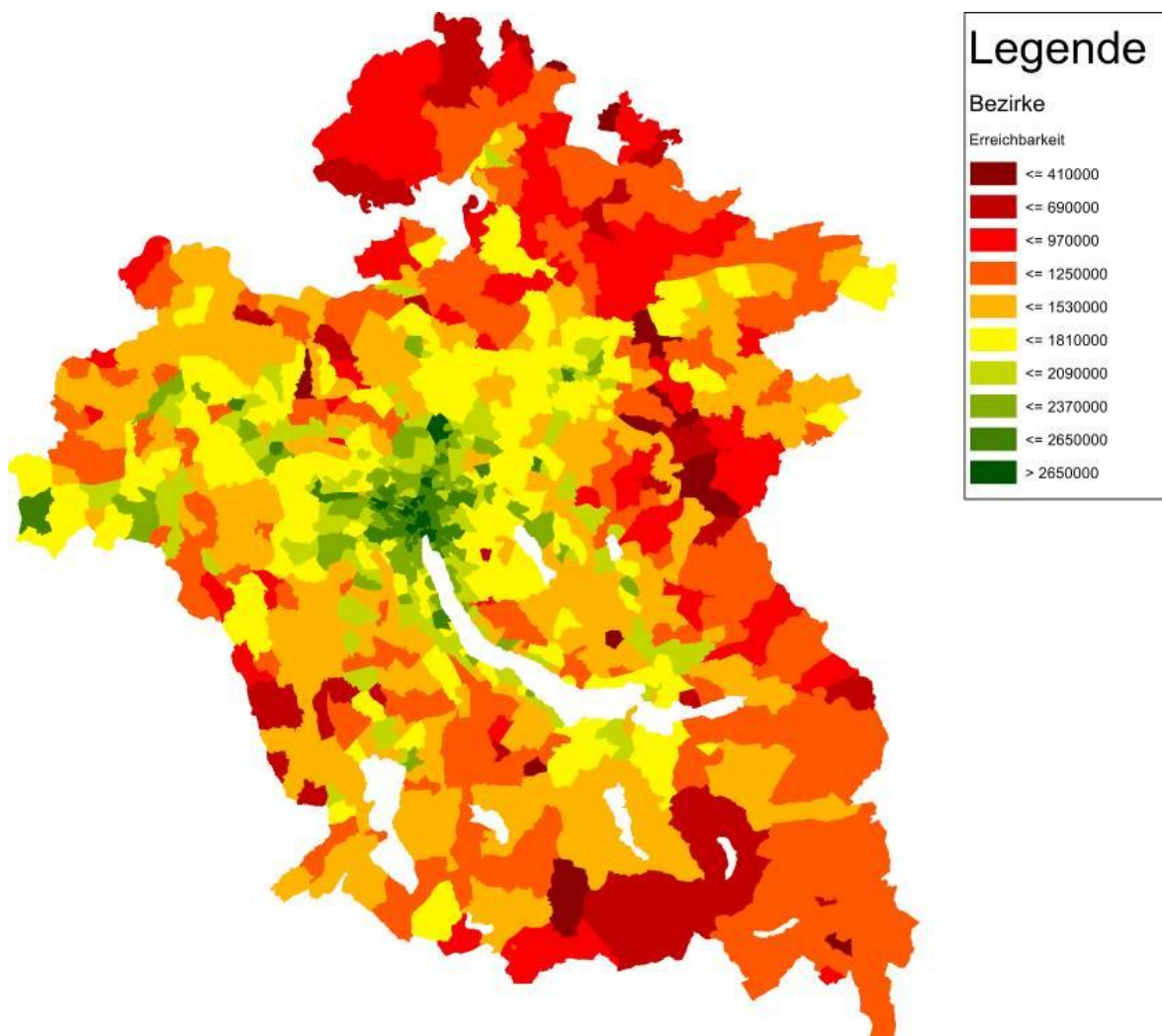
Schliesslich konnten wir die resultierenden Bezirkserreichbarkeiten zurück ins Visum kopieren und durch Bearbeiten der Grafikparameter die Bezirke entsprechend darstellen. Kapitel 3.3.2 zeigt das Resultat ohne Verwendung des natürlichen Logarithmus in der Formel der Erreichbarkeit, Kapitel 3.3.3 illustriert das Resultat mit Verwendung der klassischen Formel.

Aufgrund des relativ langwierigen Prozedere, das wir im Rahmen dieser Bachelorarbeit nicht automatisieren konnten, mussten wir auf mehrere Iterationen erforderliche Berechnungen im Zürcher Modell leider verzichten. Beispielsweise hätte eine Beitragsberechnung gemäss unserer priorisierten Variante 2 (s. Kapitel 3.1.3) 1481 (entspricht der Anzahl Linien im Zürcher Modell) Erreichbarkeitsberechnungen notwendig gemacht, welche alle mindestens zwei Stunden lang gedauert hätten! Dieser unglaubliche Iterationsaufwand verdeutlicht auch die Anforderung an einen möglichst simplen Einnahmenverteilungsalgorithmus, damit dieser überhaupt mit einem vernünftigen Aufwand in der Praxis angewendet werden kann.

3.3.2 Darstellung der Erreichbarkeit ohne In

Abbildung 16 zeigt das Resultat der ÖV-Erreichbarkeitsberechnung im Zürcher Modell. Die höchsten Erreichbarkeiten besitzt das Stadtzentrum von Zürich (für Details s. Abbildung 17) sowie der Flughafen Zürich. Weitere Städte wie Olten, Aarau, Brugg und Baden im westlich angrenzenden Aargau sowie Zug, Thalwil, Uster, Winterthur und Bülach weisen ebenfalls eine beachtliche, grün markierte Erreichbarkeit auf. Eine mittelgrosse Erreichbarkeit wird durch Gemeinden um diese Hotspots erreicht. Insbesondere die Stadt Zürich weist ein breites Agglomerationsband von gelb markierten Bezirken auf, das sich bis nach Winterthur und weit in das Limmattal erstreckt.

Abbildung 16 ÖV-Erreichbarkeit im Zürcher Modell ohne Berücksichtigung des In mit linearen Klassen.



Je weiter man sich von den grösseren Städten entfernt, desto tiefere Erreichbarkeitswerte resultieren, was beispielsweise im Tösstal gut sichtbar wird. Auch durch den ÖV nur minimal erschlossene Gebiete wie der Wägitalersee, partielle Gebiete im Freiamt, im Zürcher Unterland sowie im Weinland werden auffällig. Die Werte in den grenznahen Gebieten, besonders im Kanton Schaffhausen, sind mit Vorsicht zu geniessen. Vermutlich sind sie zu tief, was auf die fehlende Modellierung des deutschen Gebietes zurückzuführen ist.

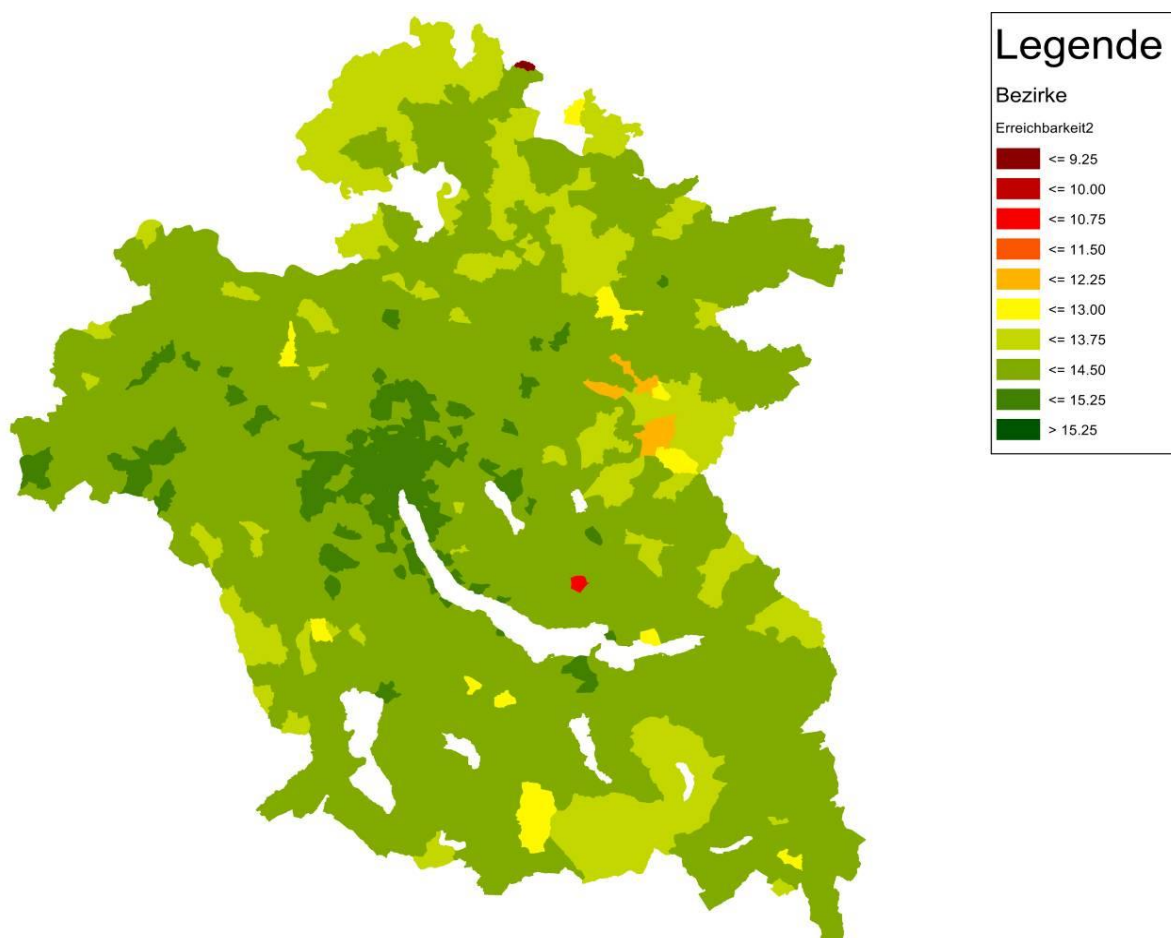
Abbildung 17 ÖV-Erreichbarkeit im Zürcher Modell ohne Berücksichtigung des In, Ausschnitt mit Stadt Zürich und Umgebung.



3.3.3 Darstellung der Erreichbarkeit mit In

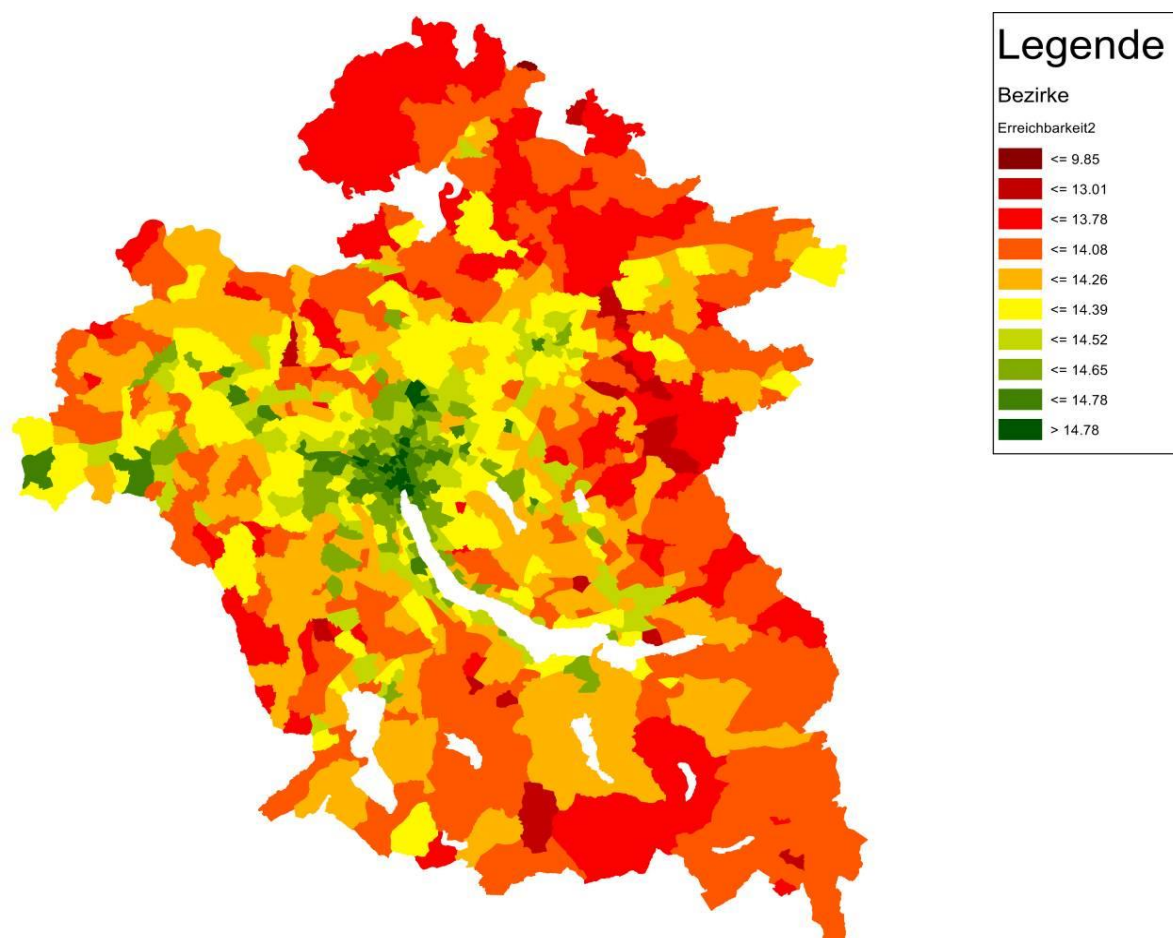
Die Unterschiede der Erreichbarkeit konnten nur ohne Verwendung des natürlichen Logarithmus in der Erreichbarkeitsformel (vgl. Kapitel 3.1.1) in gleich grossen Klassen dargestellt werden. Wird dasselbe mit der klassischen Formel gemacht, resultiert Abbildung 18. Der Grund dafür liegt bei den sehr hohen Erreichbarkeitswerten, die aufgrund der kleinen Steigung der Logarithmusfunktion bei ebendiesen grossen Zahlen stark gestaucht werden. Entsprechend sind kaum Unterschiede zu erkennen: Die gesamte Zürcher Agglomeration erreicht praktisch dieselbe Grössenklasse, nur einzelne Ausreisser gegen unten zeigen tiefere Werte, die grösseren, gut erschlossenen Städte erreichen gegen oben genau eine Grössenklasse mehr. Vor einigen Jahren hat schon Erne (2007) mit etwas älteren Daten (2003) die Erreichbarkeit im Gesamtverkehrsmodell dargestellt. Das Ergebnis deckt sich gut mit unserem, was den Werten insofern Plausibilität verschafft.

Abbildung 18 ÖV-Erreichbarkeit im Zürcher Modell nach klassischer Erreichbarkeitsformel mit linearen Klassen.



Die optisch diversifiziertere Darstellung entsteht, indem man Visum die Klassen durch die Methode «natural breaks» automatisch generieren lässt. Das entsprechende Resultat zeigt Abbildung 19 – es ist kaum ein Unterschied zur Abbildung 16 erkennbar. Diese Methode erscheint uns etwas künstlich, da die Abbildung grosse Unterschiede trotz geringen absoluten Differenzen suggeriert. Deshalb bevorzugen wir auch hier die Methode ohne Berücksichtigung des ln.

Abbildung 19 ÖV-Erreichbarkeit im Zürcher Modell nach klassischer Erreichbarkeitsformel mit Klassen nach natural breaks.



3.3.4 Linienreichbarkeit einer Linie

Obwohl die iterative Berechnung der Einnahmenverteilung gemäss Variante 2 (vgl. Kapitel 3.1.3) aufgrund der zahlreichen Iterationen im Zürcher Modell unmöglich war, berechneten wir die Linienreichbarkeit exemplarisch anhand einer Linie. Wir wählten dazu die «reale» S7, welche die Strecke Winterthur-Kloten-Zürich HB-Meilen-Rapperswil befährt.

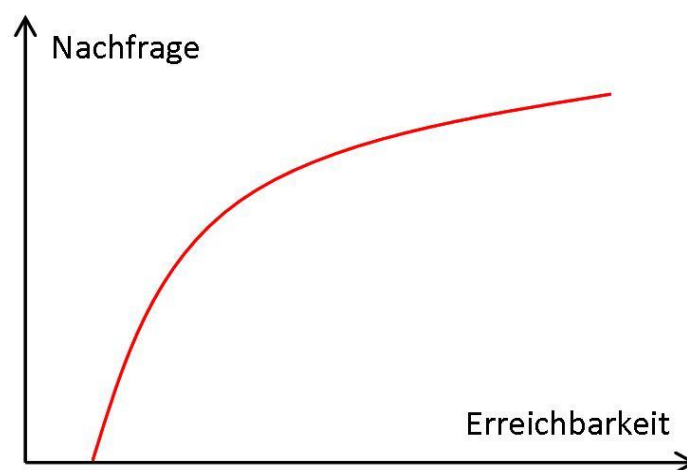
Die Gesamterreichbarkeit im Zürcher Modell beträgt 2'351.45 Millionen. Durch Abschalten der S7 sinkt dieser Wert nur um gut $10^{-5}\%$ auf 2'351.43 Millionen. Die geringe Abnahme ist auf die verbleibenden 1'480 Linien zurückzuführen, welche nach wie vor die Erschliessung der durch die S7 bedienten Bezirke grösstenteils gewährleisten.

Es ist zu erwarten, dass bei der Anwendung des Verfahrens auf das gesamte Modell sich ähnliche Resultate für alle Linien ergeben. Grund dafür ist der kaum vorhandene Grenznutzen, der die Einführung einer neuen Linie in einem bereits mit solch zahlreichen Linien betriebenen System ergibt.

3.4 Zusammenhang zwischen Nachfrage und Erreichbarkeit

Wenn ein Gebiet durch eine neue ÖV-Linie erschlossen wird, steigt die Erreichbarkeit dieses Gebiets und somit des Gesamtsystems. Dadurch nimmt die Attraktivität des Verbundes zu und es ist mit einer erhöhten Nachfrage zu rechnen. Dieser Zusammenhang ist aber nicht linear, sondern mit einem stetig abnehmendem Grenznutzen verbunden: Je mehr die Erreichbarkeit eines Gebietes steigt, desto weniger Grenznutzen wird erzeugt – die Nachfrage steigt immer weniger (s. Abbildung 20). Die Nachfrage korreliert mit den Einnahmen eines Verbunds – steigende Nachfrage führt nämlich automatisch zu mehr Ticketverkäufen.

Abbildung 20 Mit zunehmender Erreichbarkeit steigt die Nachfrage aufgrund des abnehmenden Grenznutzens immer weniger an.



Genannte Zusammenhänge müssen somit bei der Einnahmenverteilung berücksichtigt werden, falls diese die Erreichbarkeit als Parameter beinhalten soll. Insbesondere die Auswirkungen bei Einführung von neuen Linien sind von Interesse: Die Einnahmen müssen die dafür notwendigen Ausgaben übertreffen – sonst ist kein Verkehrsunternehmen zu Investitionen bereit. Wird eine erste Linie im bisher durch den ÖV unerschlossenen Gebiet eröffnet, nimmt die Erreichbarkeit wesentlich zu. Auch die Einführung einer zweiten Linie bleibt aufgrund einer hoch bleibenden Erreichbarkeitssteigerung lukrativ, wenn auch aufgrund des abnehmen-

den Grenznutzens etwas weniger als die Einführung der ersten Linie. Irgendwann wird eine Grenze erreicht, bei der die Erreichbarkeitszunahme nicht mehr zu einer genügenden Nachfrageänderung in Form von kostendeckenden Ticketeinnahmen führen wird. Es stellt sich die Frage, wo diese Grenze liegt. Diese hat nämlich massgebenden Einfluss auf die Bestrebungen eines Verbunds, eine möglichst hohe Netzabdeckung zu erreichen, also auch Orte mit einer tiefen Anzahl Aktivitätsgelegenheiten zu erschliessen. Auch der Anreiz zur Einführung von beschleunigten und parallel verlaufenden Linien hängt von dieser Grenze ab.

Um diese Umstände zu berücksichtigen, betrachten wir ein einfaches Modell, in dem alle Einwohner sich entweder für oder gegen den ÖV entscheiden. Falls sie sich dafür entscheiden, kaufen sie sich ein Monatsabonnement, sonst werden sie als Gelegenheitsfahrer betrachtet und lösen sich demnach während der Dauer eines Monats einmal ein Einzelfahrschein. Je höher die Erreichbarkeit des Systems ist, desto mehr steigt die Wahrscheinlichkeit, dass sich die Fahrgäste für den ÖV entscheiden und ein Abo kaufen. Diese beträgt somit:

$$P_{Abo}(x) = 1 - \left(\frac{1}{e^{\beta_E \cdot \ln(E)} + 1} \right)$$

Dabei bezeichnet E die Summe aller Erreichbarkeiten (der Einzugsbereiche aller Haltestellen im Verbundgebiet) und β_E den noch zu bestimmenden Beta-Parameter der Erreichbarkeit. Wenn $E = 0$ wird, wird die Wahrscheinlichkeit für einen Abo-Kauf ebenfalls 0. Ergebnisse des Mikrozensus 2010 zeigen, dass rund 13.7% der deutschsprachigen Bevölkerung ein Verbundabonnement besitzt. Darunter fallen mit schweizweit 26.5% besonders viele Jugendliche im Alterssegment von 16-24 Jahren, ein Minimum wird mit 10.0% bei der Altersgruppe der 65-79jährigen erreicht.

Mit oben genannter Formel berechneten wir β_E zuerst mithilfe der Daten aus unserer Testumgebung. Dazu setzten wir die durchschnittliche Wahrscheinlichkeit, dass jemand ein Verbundabo besitzt, gemäss Mikrozensus auf 13.7%. Die Erreichbarkeitswerte sowie die Bevölkerungsanzahl entnahmen wir aus der Testumgebung. Die Auflösung der Gleichung ergab als Beta-Wert der Erreichbarkeit 0.159.

Dasselbe Prozedere führten wir mit den praxisnahen Daten aus dem Zürcher Modell durch. Bei dieser Untersuchung resultierte ein etwas tieferer Beta-Wert von 0.139, welcher sich kaum vom vorhin in der vereinfachten Testumgebung berechneten Wert unterscheidet.

Betrachten wir nun die Gesamteinnahmen des beschriebenen Modells: Diese setzten sich aus den Einnahmen der Abos sowie derjenigen der Einzelfahrausweise zusammen. Somit gilt:

$$Einnahmen = \sum_{\text{Bezirke}} \left(P_{EF} \cdot N_{Bev} \cdot \left(\frac{1}{e^{\beta_E \cdot \ln(E)} + 1} \right) + P_{ZK} \cdot N_{Bev} \cdot \left(1 - \frac{1}{e^{\beta_E \cdot \ln(E)} + 1} \right) \right)$$

Hier bezeichnet N die Bevölkerungsanzahl in den entsprechenden Bezirken, E die Erreichbarkeit, β_E den aus dem Zürcher Modell berechneten Beta-Parameter von 0.139 und P den Preis pro für ein Abo, bzw. für einen Einzelfahrausweis. Durch den Vergleich von realen Preisen für Monatsfahrkarten mit denjenigen für Einzelfahrausweisen und der Annahme, dass ein Monatsabo für etwa 40 Fahrten genutzt wird, resultiert die Vermutung, dass eine Fahrt mit einem Abo etwa halb so wenig kostet wie eine mit einem Einzelfahrschein. Deshalb setzen wir $P_{EF} = 1$ und $P_{ABO} = 20$ (40 Fahrten zu je einem Preis von 0.5).

In unserer VISUM-Testumgebung berechneten wir unter Berücksichtigung der genannten Annahmen die Einnahmen für das Gesamtsystem. Diese verglichen wir mit den Einnahmen, welche sich beim Ausschalten einer Linie ergeben würden, um die Wirtschaftlichkeit derselben zu überprüfen. Auch für die Einführung der Regio-Express-Linie sowie der parallel verlaufenden S15 kalkulierten wir die Änderung der Gesamteinnahmen. Die Resultate zeigt folgende Tabelle.

Tabelle 11 Gesamteinnahmen der in der Testumgebung untersuchten Zustände mit Schlussfolgerung der Einnahmenbeiträge der einzelnen Linien.

Zustand Testumgebung	Gesamteinnahmen nach Modellrechnung	Zusätzliche Einnahmen dank Linie
Ursprungssystem (S5, S7, 850, 940)	2'152'000	–
Ohne S5	1'451'000	701'000
Ohne S7	1'554'000	598'000
Ohne 850	2'091'000	61'000
Ohne 940	2'091'000	61'000
Mit RE	2'153'000	1'000
Mit S15	2'152'000	0

Sofort wird ersichtlich, dass die Einführung der S5 zur grössten Nachfragesteigerung führt, was sich in einem über 50% umfassenden Einnahmenezuwachs äussert. Diese Feststellung überrascht kaum, da die S5 wesentlich zur Gesamterreichbarkeit beisteuert, weil ohne diese S-Bahn die Buslinie 850 vom Restsystem abgeschottet wäre. Überraschender sind die gleich hohen Einnahmenbeiträge der beiden Buslinien. Sie illustrieren, dass sich die Einführung

neuer Linien in Gebiete lohnt, die mit dem ÖV bisher noch unerschlossen sind. Bemerkenswert ist, dass die Buslinien nun nur noch etwa 10% der Einnahmen gegenüber den S-Bahn-Linien generieren. Würde die Einnahmenverteilung durch diese Berechnung ergänzt werden, entstünden somit gerechtere Erlöszuscheidungen.

Hingegen treten sowohl beim Regioexpress als auch bei der S15 bekannte Probleme (vgl. Kapitel 3.2.4) auf: Obwohl das Verbundangebot durch die resultierenden schnelleren Verbindungen, bzw. den besseren Takt an Attraktivität gewinnt, tragen diese Linien kaum zur Erreichbarkeitssteigerung bei. Dies führt im betrachteten Modell dazu, dass die Nachfrage stagniert und somit die Einnahmen kaum steigen. Den quantitativen Beitrag beschleunigter und parallel verlaufender Linien zu messen, ist in diesem Modell leider nicht möglich.

4 Schlussfolgerungen

4.1 Fazit

Die Literaturdurchsicht und die Rückmeldungen von den Verbunden haben gezeigt, dass zurzeit extrem viele unterschiedliche Ausprägungen der Einnahmenaufteilung existieren. Überdies sind die meisten Verfahren komplex und schwer nachvollziehbar. Eine quantifizierbare und objektive Bewertung der Verfahren ist schwierig, auch weil die Ansprüche an die Einnahmenaufteilung von Verbund zu Verbund variieren. Zudem sparen viele Verbunde bei den Verteilungsverfahren, weil aus Verbundsicht die aktuell angewandten Verfahren zufriedenstellend sind und die Kosten für Neuentwicklungen den Nutzen übersteigen. Eine engere Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Praxis könnte Abhilfe schaffen, um mehr Logik und Nachvollziehbarkeit in die Verfahren zu bringen. Das Ziel muss es jedoch bleiben, das Verteilungsverfahren so einfach wie möglich und so detailliert wie nötig zu gestalten.

Die Verständlichkeit eines Verteilungsverfahrens darf nicht darunter leiden, dass unzählige Parameter zur weiteren Spezifizierung implementiert werden. Deshalb ist es unumgänglich, eine Auswahl von einigen wichtigen, aussagekräftigen Parameter zum Einbezug in das Einnahmenaufteilungsverfahren zu treffen. Unsere praktische Untersuchung hat gezeigt, dass sich die Erreichbarkeit als solchen Parameter für die Einnahmenverteilung eignet. Einerseits bildet sie durch die Berücksichtigung der Aktivitätsgelegenheiten die Nachfrage ab, andererseits integriert sie auch Aspekte des Angebots, beispielsweise durch Einbezug des Takts in den generalisierten Kosten. Zudem soll aus verkehrsplanerischer Sicht die Erreichbarkeit im Gesamtsystem erhöht werden, was für sich allein betrachtet bereits als Legitimation für den Einbezug der Erreichbarkeit in das Einnahmenaufteilungsverfahren dient.

Da die Definition der Erreichbarkeit auf einen Ort und nicht auf eine ÖV-Linie bezogen ist, führten wir den Begriff der Linienerrreichbarkeit ein. Untersuchungen in einem Testnetz in PTV Visum über das entsprechende Erlöszuscheidungsverfahren (Differenz der Gesamterreichbarkeiten) haben gezeigt, dass grundsätzlich sinnvolle relative Einnahmenanteile je Linie resultieren, sofern das System nur wenige Linien besitzt und keine Besonderheiten aufweist. Die Gewichtung der generalisierten Kosten (Beta-Werte) spielen dabei eine grosse Rolle, wie viel Einnahmen Buslinien im Vergleich zu S-Bahn-Linien erhalten und ob die Erschliessung von entlegenen Siedlungen rentiert. Deshalb lohnt es sich, in einer künftigen Arbeit die Gewichtungseffekte genauer zu untersuchen, um gewünschtes Verhalten (z. B. hohe Netzabdeckung) adäquat belohnen zu können.

Gerade im Hinblick auf die vielfältigen Strukturen der Verbunde und die ganz verschiedenen Anforderungen muss eine Einnahmenverteilung auf Basis des Erreichbarkeitsbeitrags sicher noch erweitert werden. In den Untersuchungen konnten wir feststellen, dass Schnelllinien kaum begründbar sind, obwohl sie massgeblich zur Senkung der Gesamtreisezeit im System und somit zur Attraktivität eines Liniennetzes beitragen. Die höhere Zahlungsbereitschaft für längere Fahrten, wie sie mit Schnelllinien in der Regel zurückgelegt werden, hat in unserem Modell keine Beachtung gefunden und könnte zur Behebung dieses Problems beitragen.

Eine weitere Herausforderung stellen parallel verkehrende Linien dar, da sie sich gemäss untersuchtem Ansatz gegenseitig der Einnahmenbasis berauben. Als Lösungsansatz könnten parallel verlaufende Linien als eine Linie mit besserem Takt modelliert werden. Ob die Gesamteinnahmen dann auf beteiligte Linien gerecht aufgeteilt werden können, ohne einen grossen Aufwand in Form von Fahrgastzählungen oder Fahrausweisquerschnittserhebungen durchführen zu müssen, muss noch untersucht werden. Schliesslich wäre es denkbar, die Linienerreichbarkeit weiter in eine Erreichbarkeit pro Streckenabschnitt zu detaillieren und den Beitrag auf die Linien aufzuteilen, die diese Strecke befahren. Wie die Aufteilung allerdings geschehen soll und ob diese Berechnung überhaupt mit vernünftigem Rechenaufwand durchführbar ist, sind Fragen, die es ebenfalls noch zu klären gilt.

Schliesslich hat der Einbezug des Zusammenhangs zwischen Erreichbarkeit und Zeitkartenverkauf gezeigt, dass unser vorgeschlagenes Verfahren sinnvolle Resultate liefern kann. Diese Arbeit soll deshalb Anstoss geben, den Ansatz weiterzuentwickeln und weitere Untersuchungen in der bisher wissenschaftlich kaum beachteten Thematik der Einnahmenaufteilung durchzuführen.

4.2 Reflexion

Zum Schluss wollen wir unsere Vorgehensweise kurz reflektieren und ein persönliches Fazit ergänzen.

Obwohl wir das Verkehrsplanungsprogramm PTV Visum vor dieser Arbeit noch nicht kennen, waren wir begeistert, was mit diesem Programm alles modelliert werden kann. Viele Kenntnisse erarbeiteten wir mit dem Prinzip «learning by doing» und durchstöberten auch häufig das hilfreiche Handbuch. Die mannigfaltigsten Möglichkeiten in Visum zu erkunden und anzuwenden, hat uns viel Spass bereitet. Im Rahmen einer Vertiefung freuen wir uns auf eine Vertiefung unserer Kenntnisse im kommenden Masterprogramm.

Das wissenschaftliche Arbeiten ist ein Terrain, auf dem wir anfangs noch unsicher waren. Mittlerweile ist uns die regelmässige Referenzierung auf Literatur und das dazugehörige Zitieren schon viel vertrauter geworden, obwohl es anfangs einige Hürden zu meistern gab. So ist die Literatur zum Thema der Einnahmenaufteilung in Verbunden dünn gesät und manchmal nicht unter den Stichworten zu finden, die man erwarten würde. Auch strukturiertes sowie exploratives Vorgehen bei der Untersuchung der Fragestellung wollte geübt sein.

Dass wir die Aufgabe in einer Zweiergruppe bewältigen durften, war einerseits eine Herausforderung, andererseits auch ein dankbarer Vorteil gegenüber Einzelarbeiten. Eine Herausforderung, weil die Arbeit koordiniert und geteilt werden musste; ein Vorteil, um sich detaillierter in die Fragestellung vertiefen zu können. Nicht zuletzt half uns das Vieraugenprinzip, welches uns effizient arbeiten liess, weil Fehler schneller entdeckt und behoben werden konnten.

Die zeitliche Planung der Arbeit stellte eine Herausforderung dar. Gerne hätten wir das Gesamtverkehrsmodell des Kantons Zürich noch weiter untersucht, doch das Semester schritt schnell voran und das Finden und die Auswertung der Literatur sowie die Untersuchungen im Testnetz erforderten einiges an Aufwand.

Summa summarum ziehen wir ein positives Fazit: Die während des Bachelorstudiums erlernten Kompetenzen konnten wir optimal zum Gelingen der Arbeit einbeziehen. Das Erarbeiten von Wissen betreffend der Einnahmenaufteilungsproblematik, die sich stetig weiterentwickelnde wissenschaftliche Vorgehensweise, aber auch der Einblick in die Modellierung des Zürcher Verkehrssystems haben uns bereichert.

5 Literatur

Axhausen, K.W. (2004)

Märkte und Erreichbarkeiten, Vortrag, CUREM Modul Verkehrsplanung, Zürich, April 2005.

Bertschi, Ph. (2011)

Einnahmenverteilung in Verbunden, Vortrag, Forum Verbunde Direkter Verkehr, März 2011, http://www.rapp.ch/wAssets-de/docs/trans/fachartikel-referate/2011/Praesentation_EV_250311.pdf, April 2014.

Bertschi, Ph., M. Mohr und F. Schneider (2010)

Integrale Tarifverbunde in der Schweiz – Planung und Umsetzung am Beispiel ITV Ostwind, in Th. Bieger, Ch. Laesser und R. Maggi (Hrsg.) *Schweizerische Verkehrswirtschaft - Jahrbuch 2010*, 2010, IDT-HSG, St. Gallen.

Bundesamt für Statistik, Bundesamt für Raumentwicklung (2012)

Mobilität in der Schweiz, Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010, Neuchâtel und Bern.

ch-direct (2013)

Tarif für General-, Halbtax- und Gleis 7-Abonnemente, http://data.ch-direct.org/Tarife/SBB/T654_d.pdf, ch-direct, VÖV UTP, Bern, Mai 2014.

Erne, S. (2007)

Einfluss der Erreichbarkeit auf die Raumnutzung am Beispiel des Grossraums Zürich, Masterarbeit Nachdiplomstudium MAS Raumplanung, NSL, ETH Zürich, Zürich.

Gesamtverkehrsmodell des Kantons Zürich (2010)

Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Zürich, Amt für Verkehr, Abteilung Gesamtverkehr, Zürich.

Kossak, A. (1999)

Quo vadis Einnahmenaufteilung?, *Der Nahverkehr*, 17 (3) 9-15.

Kossak, A. (2001)

Denkblockade Einnahmenaufteilung?, *Der Nahverkehr*, 19 (12) 40-44.

Kummerow, H. und M. Spichal (2006)

Neue Tarifkonzepte und die Frage sachgerechter Einnahmenaufteilung, *Der Nahverkehr*, 24 (7-8) 35-38.

Luethi, M., U. Weidmann und A. Nash (2007)

Passenger Arrival Rates at Public Transport Stations, TRB 2007 Annual Meeting CD-ROM, Institute for Transport Planning and Systems, ETH Zürich, Zürich.

- Meyer, T., E. Wenzinger und Ch. Scheidegger (2005)
Sonderdruck GA-Verteilschlüssel, ch-direct (Hrsg.), VÖV UTP, Bern,
<http://www.voev.ch/de/Service/Downloadsindex.php?section=downloads&download=4456>, März 2014.
- SBB (2010)
Mit dem besten Abo reisen,
<http://www.sbb.ch/content/dam/sbb/de/pdf/meta/suche/hilfe/mit-dem-besten-abo.pdf>,
SBB Personenverkehr, Bern, Mai 2014.
- SBB (2012)
Kundenbefragung im Zug, SBB Personenverkehr (Hrsg.), Bern.
- Scholz, R. (2006)
Woher kommt das Geld für den ÖPNV?, *Internationales Verkehrswesen*, **56** (5) 222-223.
- Simma, A. (2000)
Verkehrsverhalten als eine Funktion soziodemografischer und räumlicher Faktoren, *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung*, **55**, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich.
- Spichal, M. (2013)
Linienerlösrechnung und Einnahmenaufteilung auf Basis relationsbezogener Verkaufsdaten, in Ch. Schneider (Hrsg.) *Unternehmenssteuerung und Controlling im ÖPNV: Instrumente und Praxisbeispiele*, 173-182, DVV Media Group, Hamburg.
- TNW Tarifverbund Nordwestschweiz (2008)
TNW Portrait, TNW Tarifverbund Nordwestschweiz, Basel,
http://www.tnw.ch/fileadmin/redacteur/pdf/Berichte_und_Portrait/TNW-Portrait.pdf,
Mai 2014.
- Trostmann, A. und J. Renken (2000)
Die Nachfrage bestimmt die Einnahmenaufteilung, *Der Nahverkehr*, **18** (12) 38-41.
- Vrtic, M. und P. Fröhlich (2006)
Was beeinflusst die Wahl der Verkehrsmittel?, *Der Nahverkehr*, **24** (4) 52-57.
- Wermuth, M. (2007)
Einnahmenaufteilungsmodelle im Überblick, Vortrag, BEKA-Seminar, Bremen, Dezember 2007.
- White, P. (2009)
Public Transport: its planning, management and operation, Routledge, Abingdon UK.
- ZVV Zürcher Verkehrsverbund (2013)
Geschäftsbericht 2012, ZVV Zürcher Verkehrsverbund, Zürich,
http://www.zvv.ch/opencms/export/sites/default/common-images/content-image-gallery/unternehmen-pdfs/GB_2012.pdf, Mai 20