

Masterarbeit

Nachfrageorientierte Liniennetzoptimierung

am Beispiel Graz

Stefan Walter

September 2010

Vorgelegt bei
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Fellendorf
Zweitbetreuer:
Dipl.-Ing. Anton Marauli
am Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	7
I. Recherche	9
2. Strategien zur Liniennetzoptimierung	11
2.1. Problemabgrenzung	11
2.2. Qualitätsansprüche	12
2.3. Strategische Entscheidungen	15
2.3.1. Netzhierarchie	16
2.3.2. Grundform des Liniennetzes	17
2.3.3. Linienbildung	23
2.3.4. Umsteigeknoten	28
2.3.5. Netzvariation	30
2.3.6. Taktfamilie	32
2.3.7. Symmetriezeit	35
3. Planungsmethodiken	37
3.1. Intuitivverfahren	37
3.1.1. Wunschliniennetz	38
3.1.2. IV-Netz-Abgleich	38
3.1.3. Taktfahrplan- und umlaufgerechte Netzgestaltung	39
3.2. Eröffnungsverfahren	40
3.2.1. Reduktionsverfahren nach Franz bzw. Hüttmann	41
3.2.2. Teilstreckenverfahren („Ansatz I“) nach Simonis	41
3.2.3. Divergenzfaktorverfahren („Ansatz II“) nach Simonis	42
3.2.4. Verkehrsstromverfahren nach Sonntag	43
3.2.5. Direktfahrerverfahren nach Sahling	44
3.2.6. Rückkoppelungsverfahren nach Völker	46
3.2.7. Linienvorschlagsverfahren nach Nökel	48
3.2.8. Route Generation Algorithm nach Baaj und Mahmassani	50
3.3. Verbesserungsverfahren	53
3.3.1. Methoden	53
3.3.2. Formulierung der Zielfunktion	55
3.3.3. Anwendungen	57
3.3.4. Ant Colony Optimization	58

3.3.5. Ansätze zur Weiterentwicklung	59
3.4. Bewertung der Methodiken	59
4. Kennzahlen	61
4.1. Nachfrageunabhängige, unmittelbare Kriterien	61
4.1.1. Netzbildungsfaktor	61
4.1.2. Haltestellen- und Netzdichte	62
4.1.3. Spezifische Haltestellen- und Netzdichte	62
4.2. Nachfrageabhängige, belastungsunabhängige, mittelbare Kriterien	62
4.2.1. Strukturpotenzial und Verkehrsgunst	63
4.2.2. Divergenzfaktor und Netzwirksamkeit	63
4.2.3. Intervallqualität	64
4.2.4. Betriebszeit	66
4.2.5. Umsteigehäufigkeit	66
4.3. Nachfrage- und belastungsabhängige mittelbare Kriterien	67
4.3.1. Verkehrsaufwand	67
4.3.2. Verkehrsleistung	68
4.3.3. Reisezeit	68
4.3.4. Kapazität	71
4.4. Relative Kennzahlen	72
II. Empirie	73
5. Inhalt der Untersuchung	75
5.1. Untersuchungsmethode	75
5.2. Instrument	75
5.3. Stichprobe	76
5.4. Durchführung	77
5.5. Probleme	78
5.6. Auswertung	78
6. Umgesetzte Liniennetzoptimierungen	79
6.1. Brüssel, Belgien	80
6.1.1. Ausgangslage	81
6.1.2. Vorgeschichte	81
6.1.3. Liniennetzreform ‚Plan Tram‘	82
6.1.4. Ergebnisse	83
6.1.5. Fazit	83
6.2. Dortmund, Deutschland	84
6.2.1. Ausgangslage	84
6.2.2. Neukonzeption	84
6.2.3. Umsetzung	85
6.2.4. Auswirkungen	85

6.2.5. Fazit	85
6.3. Dubai, Vereinigte Arabische Emirate	86
6.3.1. Planungsauftrag	86
6.3.2. Nachfrageanalyse	86
6.3.3. Netzgenerierung	87
6.3.4. Fazit	87
6.4. Innsbruck, Österreich	88
6.4.1. Ausgangslage	88
6.4.2. Verkehrsmodell	88
6.4.3. Vorgehensweise	89
6.4.4. Umsetzung	89
6.4.5. Auswirkungen	90
6.4.6. Neuplanung	91
6.4.7. Fazit	91
6.5. München, Deutschland	92
6.5.1. Ausgangslage	92
6.5.2. Vorbereitungen	93
6.5.3. Verkehrsmodell	94
6.5.4. Mängelanalyse	94
6.5.5. Planung	95
6.5.6. Begleitmaßnahmen	96
6.5.7. Auswirkungen	96
6.5.8. Fazit	97
6.6. Wiesbaden, Deutschland	98
6.6.1. Ausgangslage	98
6.6.2. Evaluierungen	98
6.6.3. Maßnahmenpaket	99
6.6.4. Auswirkungen	99
6.6.5. Fazit	100
6.7. Zusammenfassung der Ergebnisse	101

III. Anwendungsbeispiel 103

7. Grundlagen 105

7.1. Steckbrief von Graz	105
7.2. Planungsgebiet	105
7.3. Untersuchungsgebiet	107
7.4. Untersuchungszeitraum	107
7.5. Allgemeine Mobilitätskultur in Graz	107
7.6. Netzstruktur in Graz	108
7.6.1. Bestandsnetz	109
7.6.2. Netzerweiterungen	110
7.6.3. Ausbauplanungen	112

7.7. Bestandsanalyse	114
7.7.1. Verwendete Kennzahlen	114
7.7.2. Auswertung des Nutzerverhaltens im ÖPNV von Graz	117
7.7.3. Betriebsdaten-Auswertung	118
7.8. Vorstellung des Verkehrsmodells	119
8. Liniennetzgenerierung	121
8.1. Festlegungen im Sinne eines Nahverkehrsplanes	121
8.1.1. Gebietsabdeckung	121
8.1.2. Verbindungsqualität	121
8.1.3. Betriebszeit	123
8.1.4. Auslastungsgrad	123
8.2. Randbedingungen	124
8.2.1. Bestandsleistung	124
8.2.2. Endhaltstellen	125
8.2.3. Wichtige Relationen	127
8.3. Vorgehensweise	130
8.3.1. Beschreibung des Verfahrens	130
8.3.2. Linienerstellung	132
8.3.3. Bewertung	132
8.3.4. Modifikation der Vorgehensweise	133
8.3.5. Ergebnisse	134
8.4. Anwendung im Planungsgebiet	134
8.4.1. Szenarienbildung	134
8.4.2. Bewertung anhand absoluter Kennzahlen	146
8.4.3. Sensitivitätsanalyse	147
8.4.4. Bewertung anhand relativer Kennzahlen	148
8.4.5. Zusammenfassung der Bewertung	163
9. Schlussfolgerungen	169
Abkürzungsverzeichnis	171
Glossar	173
Abbildungsverzeichnis	179
Tabellenverzeichnis	181
Literaturverzeichnis	186
Anhang: Interview-Leitfaden	187

Abstract

Diese Arbeit beschäftigt sich mit nachfrageorientierter Liniennetzoptimierung. Darunter versteht man die Neuorganisation von Liniennetzen des öffentlichen Verkehrs, die durch die Beachtung der Nachfrage im Planungsgebiet erfolgt und somit eine bessere Befriedigung des Verkehrsbedürfnisses verspricht. Im ersten Schritt wurde eine Recherche über die Methoden der intuitiven und algorithmusgestützten Liniennetzplanung durchgeführt. Es zeigte sich, dass das Feld algorithmusgestützter Liniennetzoptimierung aktuell Gegenstand massiver Forschungstätigkeit ist. Weiters wurde in der Recherche ein Katalog von Bewertungskriterien erstellt, mit welchen Liniennetze objektiv auf ihre Güte untersucht werden können. Der zweite Teil der Arbeit umfasste Interviews mit Vertretern europäischer Verkehrsunternehmen, die bereits Liniennetzreformen durchgeführt haben. Hier zeigte sich, dass es bislang noch nie zum Einsatz algorithmusgestützter Liniennetzerstellung an realen Problemstellungen kam. Auch wurde die Erkenntnis gewonnen, dass neben einer fundierten Kenntnis der Nachfrage und der Ausrichtung der Planungen auf diese auch viel Aufwand in Bürgerbeteiligung gesteckt werden muss, damit eine Liniennetzoptimierung letztlich erfolgreich ist. Zuletzt wurden die Erkenntnisse auf ein Planungsgebiet im Grazer Südwesten umgelegt. Mit dem Linienvorschlagsverfahren nach Nökel wurden zwei Varianten neuer Liniennetze erstellt, mit intuitiven Methoden zwei weitere. Die Bewertung ergab, dass sämtliche untersuchten Netze bessere Ergebnisse als das Bestandsliniennetz lieferten. Die Anwendung algorithmusgestützter Planung führte zudem zu besseren Ergebnissen als intuitive Netzgestaltung, jedoch erwies sich keines der beiden so erstellten Liniennetze als dem anderen überlegen.

In this thesis, demand responsive route network optimization is investigated. This means to reorganize a public transport network following the demand within the investigated area, aiming at a better satisfaction of traffic needs. The first step comprises a research about methods of intuitive network constructions and algorithms for an automated network automatization. It showed that this field is currently being eagerly investigated scientifically. The research also covers methods of objectively assessing public transport networks. The second part is made up of interviews with persons in charge of European public transport companies that have already carried out network optimizations. The two main results of this survey were that none of these optimizations was done with algorithm based network construction and that civic participation is a crucial necessity for the success of a network optimization. In the last part, the gathered information was used to perform a network optimization on the public transport system in the south-western part of Graz. Two algorithm based and to intuitively generated networks were compared, showing that the algorithm based networks performed better than the intuitively created

Inhaltsverzeichnis

networks and that all networks performed significantly better than the existing one. No choice, however, could be made out of the two successful networks as both showed equal performance.

1. Einleitung

Der öffentliche Verkehr (ÖV) zeichnet sich im Vergleich zum motorisierten Individualverkehr (mIV) aus gesellschaftlicher Sicht durch geringe Umweltauswirkungen, geringen Flächenverbrauch und niedrige Unfallzahlen aus, aus Nutzersicht ermöglicht er günstiges Reisen, weitgehende Unabhängigkeit von der Verkehrssituation und eine produktive Nutzung der Fahrzeit. Aus verkehrspolitischer Sicht ist daher eine Verschiebung der Verkehrsmittelwahl vom mIV zur ‚sanften Mobilität‘ (ÖV, Fahrrad, Fuß) erstrebenswert.

Durch die immer ältere Gesellschaft, die jedoch auch in höherem Alter relativ mobil bleibt, sowie sinkende Schülerzahlen ist ein immer größerer Teil der Bevölkerung in der Lage, sich das Verkehrsmittel auszusuchen und damit nicht an die Benutzung öffentlicher Verkehrsmittel gebunden. Um eine Änderung der Verkehrsmittelwahl bei diesen Personengruppen herbeizuführen, sind große Anstrengungen vonnöten. Neben verkehrspolitischen Steuerungsmaßnahmen (Parkraumbewirtschaftung, sektorielle Fahrverbote) muss dabei in noch viel größerem Maße eine Verbesserung des öffentlichen Verkehrsangebotes erfolgen, was aufgrund beschränkter Haushaltsmittel jedoch nur durch die Optimierung des Gesamtsystems und die Vermeidung von Doppelgleisigkeiten möglich ist. Als weitere erschwerende Tatsache kommt hinzu, dass bestehende Fahrgäste nur allzu leicht verloren gehen, wenn sich das Angebot zu gravierend zu ihren Lasten verändert.

In den meisten Städten besteht seit der großen Straßenbahn-Einstellungswelle in den 1950er- bis 1970er-Jahren bis heute ein Liniennetz, welches zum einen auf dem gewachsenen Straßenbahnnetz und zum anderen auf dem ergänzenden Busliniennetz basiert. Neue Verkehrsangebote wurden dabei nur selten im Rahmen eines Gesamtkonzeptes eingeführt, sodass heute eine Reihe von Unsystematiken, Über- und Unterbedienungen besteht. Eine Optimierung des Angebotes dient damit nicht nur der Finanzierung von Zusatzleistungen, sondern allgemein dazu, die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems zu erhöhen.

In dieser Arbeit werden zunächst Strategien aufgezeigt, die eine Optimierung von Liniennetzen ermöglichen. Dabei wird großer Wert auf die zu schaffenden Vorgaben gelegt, um eine zielgerichtete Planung zu ermöglichen, sowie auf die Möglichkeit, eine Liniennetzoptimierung möglichst unter Ausschaltung subjektiver Einschätzungen, gleichzeitig aber unter Wahrung verkehrsplanerischer Einflussmöglichkeiten durchzuführen.

In Interviews mit Verkehrsbetrieben, die bereits eine Liniennetzoptimierung durchführten, werden im Weiteren Auswirkungen erläutert und Erfahrungen gesammelt, um eine Ausgangsbasis für eine Beispielanwendung zu erhalten.

Letztendlich wird unter Verwendung eines Nachfragemodells eine Liniennetzoptimierung in Graz durchgeführt, in welcher die zuvor erarbeiteten Prinzipien zum Einsatz kommen. Dabei soll das Liniennetz so neu gestaltet werden, dass mit unveränderten Betriebskosten ein Optimum erreicht wird, mit dem sowohl bestehende Fahrgastströme als auch vorhandenes Potenzial an Nicht-Fahrgästen bestmöglich abgedeckt werden können.

1. *Einleitung*

Teil I.
Recherche

2. Strategien zur Liniennetzoptimierung

2.1. Problemabgrenzung

Bei der Erstellung eines Liniennetzes im Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) besteht eine Reihe von Randbedingungen, welche das Problem hoch komplex machen. Neben dem offensichtlichen Ziel, möglichst viele potenzielle Fahrgäste in möglichst geringer Zeit möglichst direkt zu transportieren, besteht seitens der Betreiber sowie der öffentlichen Hand das Bestreben, die Kosten des Systems niedrig zu halten.

Guihaire und Hao stellen die Ansprüche, die an ein Liniennetz des ÖPNV aus Nutzer- und aus Betreibersicht gestellt werden sowie die Zielkonflikte, die sich daraus ergeben, anschaulich dar:

„From the user’s perspective, a transit network should cover a large service area, be highly accessible, offer numerous direct-through trips, hardly deviate from shortest paths, and should globally be able to meet the demand. The number of routes or total route length should also be kept under a certain bound so as to reduce the operator’s cost“ (Guihaire und Hao 2008, S. 1257).

Die Erstellung von Liniennetzen ist bereits seit mehreren Jahrzehnten Gegenstand von Forschung, ohne eine eindeutige Lösung des Problems hervorgebracht zu haben. Bereits Sonntag benennt das Problem:

„Für ein derart komplexes, seiner formalen Struktur nach kombinatorisches Problem [...] besteht keine Möglichkeit der simultanen Optimierung [...], bei der alle relevanten Wechselwirkungen der operationalen Zielsetzungen in ausreichender Weise betrachtet werden“ (Sonntag 1977, S. 5).

Newell benennt weiters die Problematik, dass bereits grundsätzlich keine guten Möglichkeiten bestehen, ein globales Optimum zu erreichen und daher mit lokalen Optima vorlieb genommen werden muss:

„The choice of routes is general a nonconvex (or even concave) optimization problem for which no simple procedure exists short of direct comparison of various local minima“ (Newell 1979, S. 21, zit. n. Kepaptsoglou und Karlaftis 2009, S. 497).

Zu diesen Problemen kommt die Tatsache hinzu, dass die meisten Städte über gewachsene Liniennetze verfügen, die zu bewährten Nutzungsmustern unter den Fahrgästen geführt haben, weshalb bei einer Optimierung stets das Problem besteht, zufriedene Kunden nicht durch ein verändertes Angebot zu verlieren.

2. Strategien zur Liniennetzoptimierung

Seitens Guihaire und Hao wurde eine einheitliche Terminologie geschaffen, die die Abgrenzung der vielschichtigen Probleme im Bereich der Planung öffentlicher Verkehrssysteme ermöglicht. Der Planungsschritt der Maßnahmenentwicklung wird hierbei für den Bereich der Planung öffentlicher Verkehrsnetze in folgende Bereiche („Problems“) geteilt:

Transit Network Design Problem (TNDP) befasst sich mit der Planung des Liniennetzes im Sinne einer Konstruktion der Linienrouten an sich,

Transit Network Frequencies Setting Problem (TNFSP) beschreibt die Planung der Intervalle auf bereits bestehenden oder zuvor geplanten Linien und

Transit Network Timetabling Problem (TNTP) beinhaltet die Koordination der Fahrpläne dieser Linien durch die eigentliche Fahrplanbildung.

Da eine Reihe von Methoden mehr als nur einen dieser Schritte umfassen, wurden ferner noch Mischbegriffe wie Transport Network Design and Frequencies Setting Problem (TNDFPS) und Transport Network Scheduling Problem (TNSP) sowie für die spärlich gesäten Beispiele, die eine gesamtheitliche Planung anstreben, noch der Überbegriff des Transport Network Design and Scheduling Problem (TNDSP) eingeführt (vgl. Guihaire und Hao 2008, S. 1256ff.).

Diese Arbeit beschäftigt sich demnach mit der Planung von Liniennetz und Intervallen (TNDFPS) mit starkem Fokus auf die Konstruktion des Liniennetzes (TNDP). Die Beschäftigung mit den eingesetzten Intervallen soll hierbei nur insofern erfolgen, als sie die Grundlage für die Bewertung von Linienbündeln und Kurzführungen sind, nicht jedoch in Form einer Bewertung der Intervalle als solche.

2.2. Qualitätsansprüche

Die Frage nach der gewünschten Qualität eines Liniennetzes im ÖPNV hängt aufgrund des systemimmanenten Zuschussbedarfes seitens der öffentlichen Hand zu großen Teilen vom politischen Willen ab. Vereinfacht gesagt ist die Qualität des öffentlichen Verkehrs nur so gut wie dessen Wertigkeit im öffentlichen Bewusstsein.

Um die politisch geforderte Qualität über längere Zeiträume zu fixieren und so Aufgabenträger und Verkehrsunternehmen Planungssicherheit zu geben, wurde (in allen Bundesländern außer Hamburg) deutschen Landkreisen, kreisfreien Städten und Zweckverbänden im Regionalisierungsgesetz von 1994 vorgeschrieben, einen Nahverkehrsplan (NVP) zu erstellen. Ein NVP regelt die Mindestanforderungen an den ÖPNV, also die Standards, mit welchen unterschiedliche Gebiete erschlossen werden sollen. Die Möglichkeiten reichen dabei von einer einfachen Definition der Gebietsabdeckung bis zu detaillierten Angaben, welche Gebiete mit welchen Taktfolgen und welchen Betriebszeiten miteinander verbunden werden sollen.

Weiters werden in Nahverkehrsplänen mehr oder minder detaillierte Angaben über die Qualität der eingesetzten Fahrzeuge, den Ausbaustandard von Haltestellen, die Fahrgastinformation und die Verlässlichkeit von Leistungen gemacht.

Je nach Schwerpunktsetzung der Gebietskörperschaft enthält der NVP ferner die geplanten Infrastrukturprojekte und Linienänderungen mit einer Bewertung der Wichtigkeit.

Im Gegensatz zu Flächenwidmungs- oder Bebauungsplänen ist der NVP jedoch rechtlich nicht bindend und auch dessen Inhalt ist nur grob gesetzlich geregelt. Aufgrund seines formalen Charakters dient er jedoch als sehr gute Orientierungshilfe bei der Zielsetzung von Verkehrsprojekten (vgl. Eichmann et al. 2005, S. 19f).

Der NVP von **München** aus dem Jahr 2005 ist im Vergleich zu jenem von **Wiesbaden** aus dem Jahr 2008 verhältnismäßig wenig umfangreich, macht jedoch sehr konkrete Aussagen über die gewünschte Qualität. Das Stadtgebiet wurde hierzu in fünf verschiedene Kategorien eingeteilt (*Kernzone, Gebiet mit hoher Nutzungsdichte, Gebiet mit niedriger Nutzungsdichte, Gebiet mit sehr niedriger Nutzungsdichte* und *bis 2010 verkehrsrelevante Planungsgebiete*). Jedem dieser Planungsgebiete wurde ein erwünschtes Mindestmaß an Bedienungsqualität zugewiesen, das sich in den zumutbaren Fußweglängen zu Haltestellen und erwünschten Taktfolgen ausdrückt, wobei diese nach Normalverkehrszeit (NVZ) und Schwachverkehrszeit bzw. Schwachlastzeit (SVZ) getrennt sind (siehe Tabellen 2.1 und 2.2). Für die Hauptverkehrszeit (HVZ) sind entsprechend kapazitätsorientierte Verstärker vorgesehen (vgl. Landeshauptstadt München 2005, S. 14f.).

Tabelle 2.1.: Mindestanforderungen für Intervalle nach Gebietstyp in München
(Landeshauptstadt München 2005, S. 14f.)

NVZ	U-Bahn	S-Bahn	Straßenbahn	Bus
Kernzone	5 min	5 min	10 min	10 min
Gebiet mit hoher Nutzungsdichte	10 min	10–20 min	10 min	10 min
Gebiet mit geringer Nutzungsdichte	10 min	20 min	10 min	20min
SVZ	U-Bahn	S-Bahn	Straßenbahn	Bus
Kernzone	10 min	10 min	10 min ¹	20 min
Gebiet mit hoher Nutzungsdichte	10 min	20 min	10 min ¹	20 min
Gebiet mit geringer Nutzungsdichte	20 min	20 min	20 min	20 min ¹

Tabelle 2.2.: Haltestelleneinzugsbereiche nach Gebietstyp in München
(Landeshauptstadt München 2005, S. 11)

	S-/U-Bahn	Straßenbahn/Bus
Kernzone	600 m	300 m
Gebiet mit hoher Nutzungsdichte	600 m	400 m
Gebiet mit geringer Nutzungsdichte	1000 m	600 m

Zu erwähnen ist beim Münchner Nahverkehrsplan weiters, dass gemäß diesem nur 80 % der Einwohner und Arbeitsplätze durch die Einzugsgebiete erschlossen werden müssen und „Teilflächen mit weniger als 200 Einwohnern und Arbeitsplätzen“ (Landeshauptstadt München 2005, S. 11) nicht durch öffentliche Verkehrsmittel erschlossen werden müssen,

¹Zwischen 8 und 20 Uhr.

2. Strategien zur Liniennetzoptimierung

weshalb für Gebiete mit sehr geringer Nutzungsdichte keine Vorgaben gemacht werden (vgl. Landeshauptstadt München 2005, S. 11).

Der NVP von **Wiesbaden** entspricht in großen Teilen der Liniennetzanalyse im Zuge der Buslinienoptimierung (siehe Kapitel 6.6). In diesem NVP wird großer Wert auf die Verbindung zwischen Teilen der Stadt gelegt. So ist festgelegt, dass „die [...] Innenstadt aus allen Ortsbezirken und ihren Siedlungsgebieten direkt, also ohne Umsteigen“ erreichbar sein muss (Strauß und Schürmann 2008, S. 30). Weiters sind Durchmesserlinien entlang starker ÖPNV-Nachfrage einzurichten und zwischen allen Ortsbezirken dann Direktverbindungen einzurichten, wenn die bestehende Fahrgastnachfrage über 1000 Fahrten pro Tag liegt.

Zudem werden in diesem Dokument die mindestens erforderlichen Taktdichten für diese Relationen definiert (siehe Tabelle 2.3).

Tabelle 2.3.: Messgrößen/Richtwerte des Fahrtenangebotes in Wiesbaden (Strauß und Schürmann 2008, S. 33)

	HVZ	NVZ	SVZ
Innenstadt	≥ 6 F/h	≥ 6 F/h	≥ 4 F/h
Innenstadt–Ortsbezirk (>1000 FG/Tag)	≥ 3 F/h	≥ 3 F/h	≥ 2 F/h
Ortsbezirk–Ortsbezirk (>1000 FG/Tag)	≥ 2 F/h	≥ 2 F/h	≥ 2 F/h
Verkehrsströme zw. 100 und 1000 FG/Tag	Nachfrageorientiertes Angebot im Linienverkehr		
Verkehrsströme <100 FG/Tag	Prüfung alternativer Bedienformen		

In **Graz** existiert als mit einem NVP vergleichbares Instrument das Gesamtverkehrskonzept, die ‚Grazer Integrierte Verkehrsentwicklung (GIVE)‘ aus dem Jahr 1995. Darin werden folgende Festlegungen zur Qualität des ÖPNV gemacht:

- Wohngebiete mittlerer Dichte² sollen vom Stadtzentrum aus innerhalb von 30 Minuten Reisezeit erreichbar sein.
- Der ÖPNV-Weg zwischen Bezirkszentren³ soll die doppelte Luftlinie nicht übersteigen und mit maximal einmal Umsteigen zu bewältigen sein.
- Innerhalb von 300 Metern rund um Haltestellen soll das gesamte innerstädtische Wohngebiet, alle Gebiete mittlerer Dichte, alle Bildungseinrichtungen, alle sonstigen wichtigen Einrichtungen und alle Betriebe mit mehr als 1000 Beschäftigten liegen.
- Alle übrigen Gebiete sollen innerhalb von 500 Metern rund um Haltestellen liegen.
- Die Innenstadt und Gebiete mittlerer Dichte sind bis 24.00 Uhr zumindest im 30-Minuten-Intervall zu erschließen.

²Die Gebietstypen beziehen sich stets auf den Grazer Flächenwidmungsplan des Jahres 1992.

³Die Definition von Bezirkszentrum erfolgt ebenfalls im Flächenwidmungsplan.

- Straßenbahn- und Hauptbuslinien sollen zur HVZ zumindest alle 5 und zur NVZ zumindest alle 7½ Minuten verkehren, Tangential- und Zubringerlinien zur HVZ zumindest alle 10 und zur NVZ zumindest alle 15 Minuten (vgl. Luser et al. 1995, S. 38ff.).

Verglichen mit Nahverkehrsplänen fehlen beispielsweise Festlegungen über die Reisezeit (und nicht nur die Weglänge) zwischen Bezirkszentren, die Bewertung des Reisezeitnachteils gegenüber dem Individualverkehr (IV), eine Definition der hierarchischen Rolle von S-Bahn, Straßenbahn und Bus sowie der Verknüpfungen untereinander und eine Festlegung der Erreichbarkeit anderer wichtiger Einrichtungen außerhalb des Stadtzentrums (z. B. Krankenhäuser). Die Definition von Mindestintervallen erfolgt nur linienweise und nicht auf Relationen bezogen. Nicht zuletzt fehlt eine Abhängigkeit der Bedienungsqualität von der Nachfrage zwischen Verkehrserregern.

Die Stadt Graz ist derzeit dabei, im Jahr 2011 ein neues Gesamtverkehrskonzept, das *Mobilitätskonzept 2020*, zu entwickeln, in welchem Grundlagen im Stile eines Nahverkehrsplanes enthalten sein sollen. Der erste Teil, die *Leitlinien Mobilität*, wurde am 23. September 2010 im Grazer Gemeinderat verabschiedet. Dieser Teil enthält all jene politischen Zielsetzungen, die bis 2021 Gültigkeit haben sollen. Hier ist ein *Bekenntrnis zu Graz als Straßenbahnstadt* und zur *sanften Mobilität* enthalten sowie die Festlegung, bis 2021 den Anteil des motorisierten Individualverkehrs (mIV) am Modal Split auf 37 % zu senken. Der zweite Teil enthält evaluierbare Ziele. Damit sind Festlegungen im Sinne deutscher Nahverkehrspläne gemeint, also Bedienungshäufigkeiten, Betriebszeiten und Reisezeitvergleiche. Im dritten Teil letztendlich sollen konkrete Projekte und Maßnahmen enthalten sein.

Der Ansatz des Mobilitätskonzeptes unterscheidet sich vom Ansatz der GIVE auch darin, dass das gesamte Spektrum der Mobilität integriert betrachtet wird, wobei bei allen Maßnahmen die Auswirkungen auf alle Verkehrsträger berücksichtigt sein sollen. Mit der Klassifizierung der Maßnahmen in *Push*- und *Pull*-Faktoren soll zudem eine klare Möglichkeit einer gesamtheitlichen Bewertung von Maßnahmenpaketen möglich sein.

Das Mobilitätskonzept soll im Laufe des Jahres 2011 fertig gestellt und im Gemeinderat verabschiedet werden⁴.

2.3. Strategische Entscheidungen

Bevor überhaupt erst mit einer Planung begonnen werden kann, ist es notwendig, die wichtigsten Eckdaten eines gewünschten neuen Liniennetzes bereits im Vorhinein festzulegen. Hierbei sind natürlich auch Szenarien möglich, die dann wiederum untereinander verglichen werden können, doch ist eine Festlegung bereits im Vorhinein unumgänglich, um den Grundsätzen der Planung auch konsequent folgen und damit ein in sich stimmiges Konzept erstellen zu können. Hierbei gibt es zwischen den zu entscheidenden Eckpunkten eine große Zahl an Abhängigkeiten – eine Festlegung auf Linienbündel statt auf Hauptachsen zieht eine vollkommen andere Intervallstruktur nach sich, je mehr Umsteigeknoten

⁴Telefonische Auskunft von Martin Kroißbrunner, Leiter der Abteilung für Verkehrsplanung der Stadt Graz, am 24. September 2010.

2. Strategien zur Liniennetzoptimierung

definiert werden, desto problematischer ist eine taktgerechte Netzplanung. Die im Folgenden genannten Kategorien sind Beispiele für Festlegungen, welche bereits vor Erstellung eines Liniennetzes gemacht werden müssen (vgl. PTV AG 2004, S. 33).

2.3.1. Netzhierarchie

Wie stark soll das Liniennetz hierarchisiert werden und welche Hierarchiestufen sollen dabei entstehen?

Diese Fragestellung ist ein häufig unbeachteter Punkt, insbesondere bei reinen Busliniennetzen. Eine Hierarchie, wenn auch nur intern verwendet, lässt jedoch zuverlässige Klassifizierungen von Auswirkungen der Angebotsqualität zu, da damit bereits im Vorfeld völlig klar ist, welche Anforderungen eine Linie zu erfüllen hat – weil diese Anforderungen nur am Beginn für jede Kategorie definiert werden müssen (vgl. PTV AG 2004, S. 42).

Das wohl prominenteste Beispiel für Hierarchiestufen sind die so genannten ‚Metrolinien‘, die, ausgehend von Hamburg im Jahr 2001, besonders in Deutschland häufig eingeführt wurden. Dabei wurden im Liniennetz einzelne Bus- und Straßenbahnlinien als ebendiese ‚Metrolinien‘ definiert und somit deren höherwertige Funktion kommuniziert. Damit einhergehend unterscheiden sich diese Linien zumeist durch ein dichteres Intervall (**München**⁵, **Hamburg**⁶, **Berlin**⁷), ausgeprägteren Schwachlastverkehr (**München, Hamburg, Berlin**) oder sogar 24-Stunden-Betrieb (**Berlin**) von anderen Linien. Bei der Planung eines so gestalteten Netzes stellen diese Linien eine eigene Hierarchiestufe nach den Hochleistungsverkehrsmitteln S-Bahn und U-Bahn dar und werden dementsprechend in einem früheren Planungsschritt geplant als das restliche Netz. Weiters soll und muss bei der Planung von Metrolinien bedeutend stärker als im Restnetz darauf geachtet werden, dass eine direkte, umwegarme Linienführung mit weitestgehend störungsfreiem Betrieb gewährleistet ist (vgl. Reinhold und Krafft-Neuhäuser 2005, S. 37).

Auch ohne eine Kommunikation dieser Liniennetzhierarchie ist die interne Festlegung auf eine solche zielführend. Die unterschiedlichen Hierarchiestufen unterscheiden sich hierbei meist durch die Betriebszeiten und die Intervalle, weiters auch durch das Fahrgastaufkommen und die Fahrzeuggröße. In **Dortmund**⁸ ist die Definition von acht Linien als ‚Hauptlinien‘ nach außen nur durch die ganze Zehnerstelle (Linien 410, 420, 430 etc.) erkennbar, tatsächlich sind aber dies jene Linien, die im dichten Intervall während der gesamten Betriebszeit der Stadtbahn verkehren und dabei wichtige Zentren (in diesem Fall tangential) verbinden.

In **Wiesbaden** und **Saarbrücken** wurden im Zuge der Liniennetzoptimierung so genannte ‚Hauptachsen‘ definiert, welche im ÖPNV täglich während der gesamten Betriebszeit und in dichtem Intervall bedient werden müssen. Diese bestehen in beiden Fällen aus Linienbündeln sowie (in Saarbrücken) der Stadtbahnlinie (vgl. Strauß und Schürmann 2008, S. 25; Schürmann 2004b, S. 19).

⁵Vgl. Gemmer und Krauß 2004, S. 415ff.

⁶Lokalausweis am 23. November 2009.

⁷Vgl. Reinhold und Krafft-Neuhäuser 2005, S. 32ff.

⁸Lokalausweis am 30. April 2010.

Wichtig ist hierbei auch festzulegen, ob Linien erlaubt sind, die über eine längere Strecke mehr als eine Hierarchiestufe bedienen, was zu Konflikten bei der Betriebszeit und der Intervallgestaltung und insbesondere bei Festlegung auf einen Fahrzeugtyp je Hierarchiestufe auch zu Kapazitätsproblemen führen kann – jedoch können derartige Unsystematiken gleichzeitig auch zu einer Verminderung des Umsteigezwanges für große Personengruppen führen und die betrieblichen Nachteile wieder wettmachen bzw. eine Linie überhaupt erst wirtschaftlich machen (vgl. Siegloch et al. 1992, S. 37).

In **Graz** existiert derzeit keine Hierarchisierung der Buslinien, wiewohl die Hauptbuslinien, also die Gelenkbuslinien⁹ (31, 32, 33, 34/34E und 40) sowie die Buslinien 39, 58, 63 und 67 sich hinsichtlich des Taktes (10-Minuten-Takt oder dichter) und der Betriebszeit (Betrieb während des gesamten Tagesverkehrs – Linien 33, 39 und 67 in der SVZ eingeschränkt) von den restlichen Linien unterscheiden. Auch die Tangentiallinien 41, 50, 52, 53, 62 und 64 (vgl. Seerainer 2004, S. 67¹⁰) unterscheiden sich vom restlichen Netz durch die Betriebszeiten (Betriebsbeginn erst gegen 5.30 Uhr, kein Schwachlastverkehr bzw. nur auf Teilstrecken) und die Intervalle (durchgehend 15-Minuten-Takt ohne Frühspitze) von den restlichen Buslinien.

2.3.2. Grundform des Liniennetzes

Welche Grundform soll das Liniennetz haben?

Eine wichtige Grundsatzentscheidung bei der Gestaltung jedes Liniennetzes ist die Grundform. Auch wenn bei der Gestaltung des Liniennetzes in erster Linie danach getrachtet werden sollte, Nachfrageströme optimal abzubilden, ist die Entscheidung für eine Grundform und eine Grundstruktur des Liniennetzes für die weitere Gestaltung wegweisend, da die an dieser Stelle getroffenen Festlegungen Auswirkungen auf den gesamten weiteren Planungsverlauf haben.

Die Netzform bezeichnet die topologische Struktur eines Liniennetzes, die gemäß Siegloch et al. in Radialnetze, Ringnetze und Rasternetze eingeteilt wird (siehe Abbildung 2.1), wobei in der Realität selbstverständlich ausschließlich Mischformen mit Tendenz zu einer der Grundformen existieren.

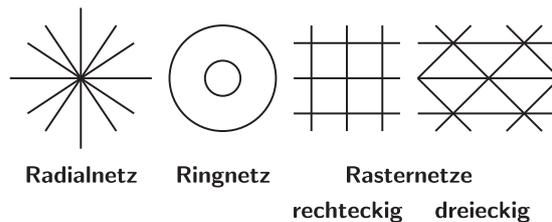


Abbildung 2.1.: Beispiele für Netzgrundformen
(Siegloch et al. 1992, S. 39)

⁹Betrieb teilweise mit 15-Meter-Bussen, vereinzelt mit Normalbussen.

¹⁰Im Vergleich zu 2004 wurde die Buslinie 63 mit September 2010 durch ein werktägliches 10-Minuten-Intervall auf den Standard einer Hauptbuslinie gehoben, weiters weist auch die Linie 53 die hier charakterisierten Eigenschaften von Tangentiallinien auf.

2. Strategien zur Liniennetzoptimierung

Reine Radialnetze trifft man in der Regel nur bei sehr kleinen Liniennetzen (z. B. dem Stadtbus in **Krems**¹¹ oder **Leoben**¹²) an. Ringnetze sind äußerst selten und treten meist nur als Überlagerung zu radialen Netzen auf: Das Straßenbahn- und Busnetz in **Wien**¹³ (siehe Abbildung 2.2) ist in weiten Teilen eindeutig in Radial- und Tangentiallinien aufgeteilt, welche sich nur auf wenigen Strecken zu Linienbündeln überlagern. Einige radiale Linien verkehren jedoch als Durchgangslinien auch auf Tangentialstrecken.

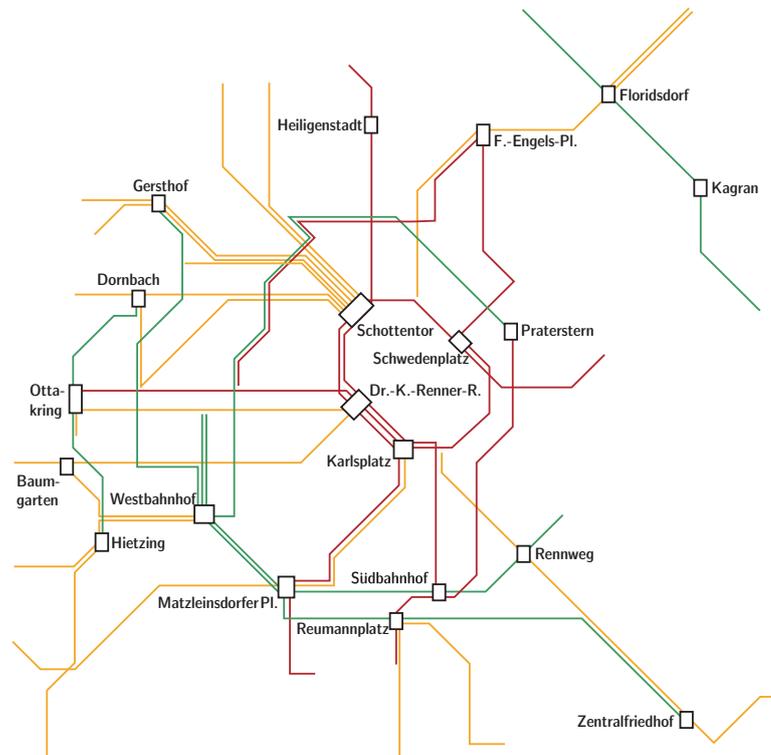


Abbildung 2.2.: Schemaskizze des Wiener Straßenbahnnetzes. Die Aufteilung in Radial- und Tangentiallinien ist eindeutig, Durchgangslinien verkehren teilweise auf Tangentialstrecken.

Eigene Darstellung

Rasternetze sind insbesondere in polyzentrischen Strukturen häufig, wie das etwa in **Düsseldorf**¹⁴ oder dem S-Bahn-Netz des **Ruhrgebietes**¹⁵ (siehe Abbildung 2.3) der Fall ist. Eine weitere wichtige Grundsatzentscheidung ist bei Radialnetzen durch die Gestaltung des Zentrums zu treffen: Löst man den zentralen Knoten auf (siehe Abbildung 2.6),

¹¹Lokalaugenschein am 18. September 2007.

¹²Lokalaugenschein am 7. Juni 2010.

¹³Lokalaugenschein am 22. August 2009.

¹⁴Lokalaugenschein am 1. Mai 2010.

¹⁵Lokalaugenschein am 30. April 2010.

2. Strategien zur Liniennetzoptimierung

Schnabel und Lohse 1997, S. 69). Ein Beispiel für eine Mischung aus einem Verschlingungsnetz mit einem Radialnetz bildet das **Münchner** U-Bahn-Netz, wo es auch außerhalb der Innenstadt Umsteigestellen zwischen U-Bahn-Linien gibt (Siehe Abbildung 2.5).

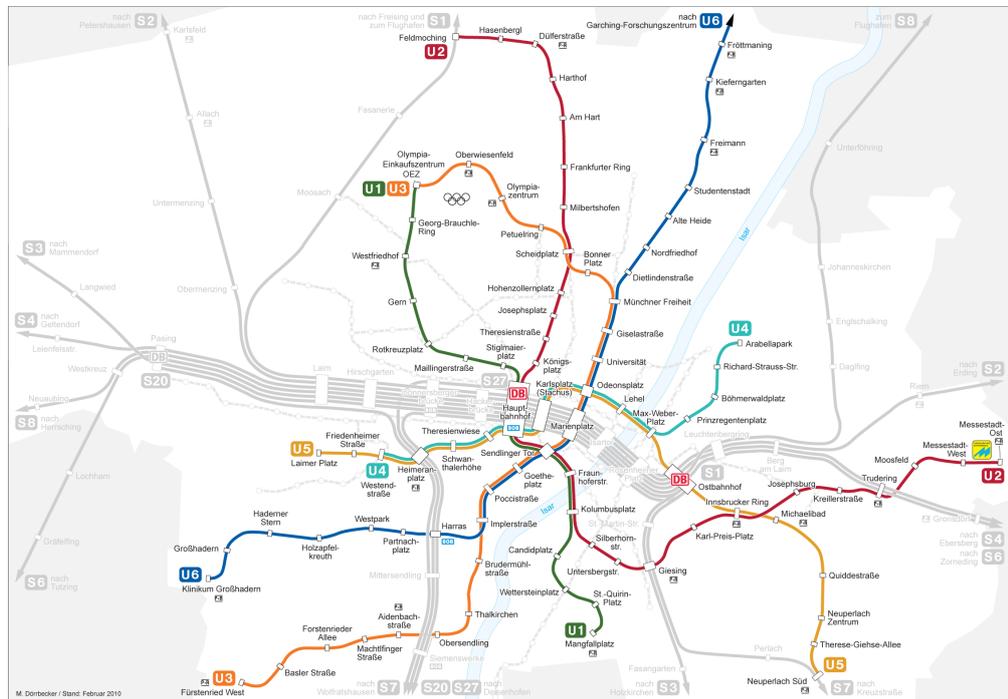


Abbildung 2.5.: Das Münchner U-Bahn-Netz in stilisierter Form als Beispiel für ein Verschlingungsnetz. Außerhalb des Zentrums finden sich zusätzliche Umsteigepunkte.

Quelle: Wikimedia Commons,

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f3/U-Bahn-Schemaplan_M%C3%BCnchen_topographisch_2010.png

Zusätzlich zu den Definitionen von Siegloch et al. und Schnabel und Lohse soll hier mit der Bezeichnung ‚Magistralennetz‘ noch eine weitere Form dargestellt werden: In **Wuppertal**¹⁸, **Linz**¹⁹, **St. Etienne**²⁰ und der Agglomeration **Vevey–Montreux–Chillon–Villeneuve**²¹ gibt es eine Hauptmagistrale, die durch ein hochwertiges Verkehrsmittel bedient wird, während die Zubringerlinien quer dazu die Feinerschließung übernehmen.

Die Bewertung der unterschiedlichen Netzformen ist schwierig und hängt massiv von der Stadttopologie und den Nachfrageströmen in dieser Stadt ab. Franz empfiehlt, grundsätzlich weniger auf eine Aufteilung zwischen Tangentiallinien und Radiallinien als

¹⁸Lokalausweis am 1. Mai 2010.

¹⁹Lokalausweis am 23. Juni 2007.

²⁰Lokalausweis am 7. August 2003.

²¹Lokalausweis am 16. April 2006.

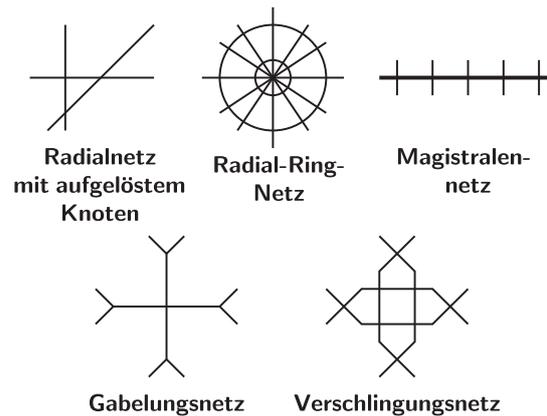


Abbildung 2.6.: Weitere Liniennetzformen
(Siegloch et al. 1992, S. 39; Schnabel und Lohse 1997, S. 69)

auf eine möglichst gute Vermaschung und damit auf Verschlingungsnetze zu setzen, als Beispiel wird das U-Bahn-Netz von **Mailand** genannt (vgl. Franz 1975, S. 12ff. und S. 82; siehe auch Abbildung 2.7). Simonis und Wall erwähnen, dass Ring- bzw. Tangentiallinien in ihrer Reinform fast immer zu zweimaligem Umsteigen führen, weshalb Mischformen erstrebenswert sind (vgl. Simonis und Wall 1980, S. 28f.). Schäffeler hingegen meint, dass Tangentiallinien auch in ihrer Reinform sinnvoll sein können, sofern sie Unterzentren verbinden und diese auch wirtschaftlich mit durchgehenden Linien verbindbar sind. Grundsätzlich sieht er das Potenzial von Tangentiallinien jedoch bereits aufgrund des Neuverkehrs als ausreichend (vgl. Schäffeler 2005, S. 65).



Abbildung 2.7.: Ausschnitt aus dem Mailänder U-Bahn-Netz. Die Linien **M1** und **M2** kreuzen sich zweimal und bilden ein Verschlingungsnetz.

Azienda Trasporti Milanesi,

http://www.atm-mi.it/it/ViaggiaConNoi/Documents/rete_metro_0_10.pdf

Das **Grazer** Liniennetz ist weitestgehend radial ausgerichtet und im Norden und Osten durch Tangentiallinien ergänzt, die die Unterzentren miteinander verbinden. Im

2. Strategien zur Liniennetzoptimierung

Südwesten verschwimmen die Grenzen zwischen Radial- und Tangentiallinien jedoch, es gibt reine Tangentiallinien (62 und 64) sowie Linien, die als Radialverbindung beginnen und dann tangential weiterführen (Linien 31 und 33). Durch die Umwegführung der Tangentiallinie 62 zwischen Puntigam und Wetzelsdorf und die Verbindungsfunktion der Erschließungslinie 78 zwischen Puntigam und Seiersberg ist in diesen Bereichen ebenfalls eine Mischung gegeben (siehe Abbildung 2.8). Im Gegensatz zu den von Franz und Simonis und Wall genannten, erwünschten Mischformen handelt es sich bei den genannten Linien jedoch nicht um Linienführungen, um die Vermaschung zu erhöhen, sondern um verlängerte Radiallinien, die zum Zeitpunkt fehlender Tangentiallinien eingerichtet wurden und mit Eröffnung dieser keine Modifikationen erfuhren.

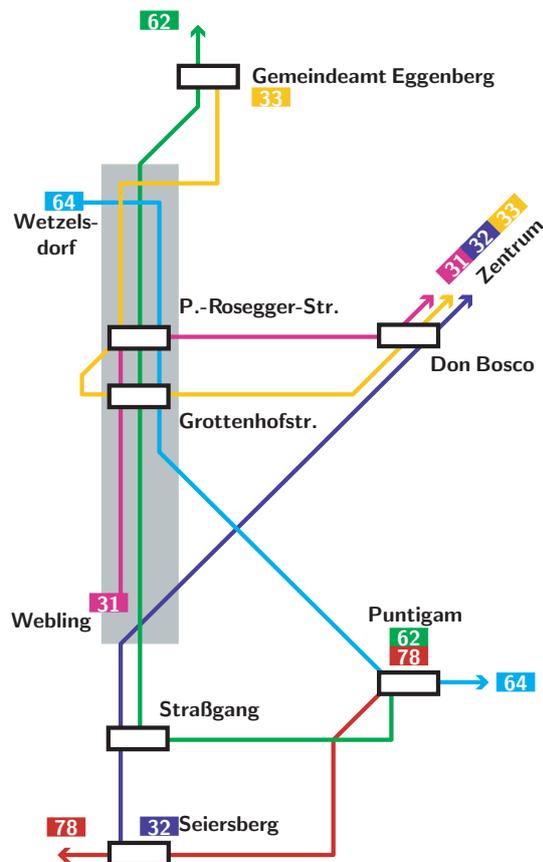


Abbildung 2.8.: Das Liniennetz im Grazer Südwesten. Die Radiallinien **31** und **33** verkehren im hinterlegten Abschnitt parallel zu den Tangentiallinien **62** und **64**. Die Linie **78** verläuft weitgehend tangential, erfüllt aber die Funktion einer (radialen) Anschlusslinie.

Eigene Darstellung

2.3.3. Linienbildung

Nach welchen Grundsätzen werden Linien innerhalb eines Netzes gebildet?

Die Philosophie der Linienverläufe hingegen ist nicht an geometrischen Festlegungen erkennbar, sondern an der Art und Weise, in der Liniennetze gestaltet werden:

In **Prag** verkehren auf fast jedem Ast des Straßenbahnnetzes mindestens zwei Straßenbahnlinien (siehe Abbildung 2.9), die sich dann über unterschiedliche Wege innerhalb der Stadt verzweigen und zu unterschiedlichen Ästen führen, womit ein relativ engmaschiges Liniennetz mit vielen Direktverbindungen entsteht. Der Grund dafür liegt darin, dass in Städten des ehemaligen Ostblocks mit dem Kauf einer Fahrkarte keine Umsteigeberechtigung einherging, weshalb viele direkte Linien geführt wurden. Die hohe Anzahl an Parallelführungen führt jedoch zu einer schwierigeren Begreifbarkeit des Liniennetzes (bei 141 km Straßenbahnnetz verfügt Prag über 24 Straßenbahnlinien, während es zum Beispiel in Wien bei 179 km Liniennetz 28 Linien, in Melbourne bei 245 km Netz gar nur 27 Linien gibt) sowie zu einem geringeren Intervall je Linie – in Prag wird dieses Problem aufgrund der großen Beförderungsleistung jedoch durch das dichte Intervall der einzelnen Linien wieder wettgemacht, während in **Košice**²² manche Linien nur wenige Fahrten pro Tag aufweisen.

Tübingen²³ und **Hagen**²⁴ setzen ebenfalls auf Parallelverkehre (siehe Abbildung 2.10), allerdings verbunden mit einer großen Flächenwirkung: An zentralen Punkten erfolgen vertaktete Abfahrten verschiedener Buslinien in dieselbe Richtung, die sich unterwegs auf verschiedene Straßenzüge aufteilen und die Fläche erschließen, um sich vor dem nächsten wichtigen Punkt wieder zu vereinigen und dort ein dichtes, vertaktetes Angebot herstellen. Diese Netzphilosophie führt zu einer extrem hohen Flächenerschließung, birgt jedoch den Nachteil, dass außerhalb der wichtigen Knoten nur ein Bruchteil des Angebotes zur Verfügung steht.

In **Innsbruck**²⁵ gibt es nur auf sehr kurzen Teilstücken Parallelverkehre, jedoch verzweigen sich die meisten Linien an den Enden (siehe Abbildung 2.11), sodass etwa bei zwei Ästen an jedem nur das halbe Angebot gefahren wird. Dies führt in der Innenstadt zu einer überschaubaren Anzahl von Linien mit relativ dichten Intervallen. Speziell bei Linien, die nur weniger als die Hälfte der Strecke vor der Verzweigung zurücklegen, führt dies jedoch zu einer schwierigeren Begreifbarkeit, da der Verlauf der Linie nur noch schwer nachzuvollziehen ist.

Das U-Bahn-Netz in **Wien** besteht aus vollkommen getrennten Linien, die jeweils mit eigenen, dichten Intervallen Hauptachsen bilden. Durch diese Netzstruktur ist eine sehr gute Begreifbarkeit gegeben, da jedem Ast stets nur eine Linie zugeordnet ist. Die beschränkte Routenwahl der Direktverbindung erfordert jedoch einerseits ein hohes Potenzial an Durchfahrern und andererseits entweder ein dichtes Intervall oder ausgeklügelte Anschlussplanung und attraktive Umsteigepunkte, um die erforderlichen Umsteigevorgänge zu erleichtern.

²²Lokalausweis am 16. Februar 2007.

²³Lokalausweis am 15. Juni 2009.

²⁴Lokalausweis am 30. April 2010.

²⁵Lokalausweis am 12. Juli 2010.

2. Strategien zur Liniennetzoptimierung

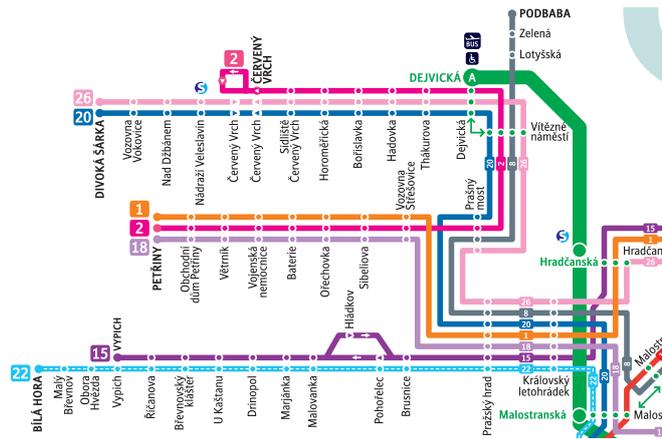


Abbildung 2.9.: Ausschnitt aus dem Prager Liniennetzplan. Die ausgeprägten Parallelführungen sind deutlich zu erkennen.

Quelle: Dopravní podnik hlavního města Prahy,

http://www.dpp.cz/download-file/3136/Metro+tram_den_new20100307optimal.pdf

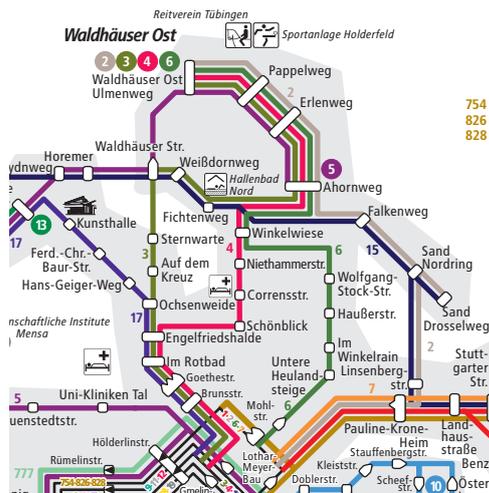


Abbildung 2.10.: Ausschnitt aus dem Tübinger Liniennetzplan. Während die Linien **2**, **3**, **4**, **5** und **6** alle das Stadtzentrum und das Universitätszentrum ‚Waldhäuser Ost‘ anfahren, haben die Linien dazwischen unterschiedliche Linienwege.

Quelle: Stadtwerke Tübingen,

http://www.svtue.de/fileadmin/user/_upload/pdf/2009-liniennetzplan-plakat.pdf

2.3. Strategische Entscheidungen

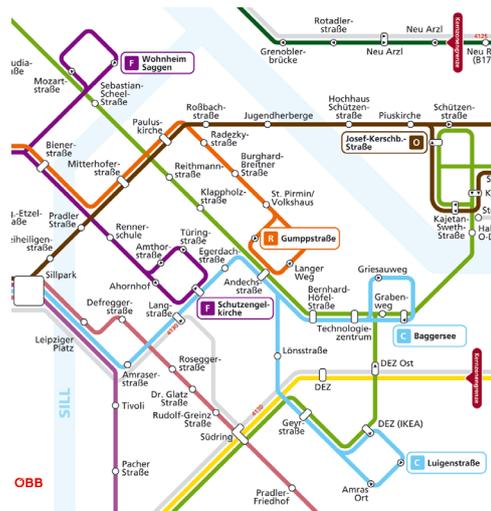


Abbildung 2.11.: Ausschnitt aus dem Innsbrucker Liniennetzplan. Die Linienverzweigung am östlichen Ende der Linien **C**, **F** und **T** sind gut zu erkennen.

Quelle: Innsbrucker Verkehrsbetriebe, http://ivb.at/fileadmin/download/fahrplan/mein-fahrplan/liniennetzplan/ivb_linienetzplan_schematisch_100128.pdf



Abbildung 2.12.: Ausschnitt aus dem Wiener U-Bahn-Netzplan. Jede Linie verkehrt auf einer eigenen Strecke, Abzweigungen gibt es keine.

Quelle: Verkehrsverbund Ostregion,
http://www.vor.at/fileadmin/user_upload/downloads/Plaene/SVP_solo_31_03_2010.pdf

2. Strategien zur Liniennetzoptimierung

Das Liniennetz von **Wiesbaden**²⁶ ist stark auf Linienbündeln aufgebaut (siehe Abbildung 2.13). Das bedeutet, dass auf Innenstadtrecken ein sehr dichtes Intervall angeboten werden kann, sich die Linien aber weiter außerhalb verzweigen. Im Prinzip ähnelt diese Struktur jener Innsbrucks, doch verfügt jeder Linienast über eine eigene Liniennummer. Diese Herangehensweise erleichtert die Kommunikation des Linienverlaufs, beeinträchtigt jedoch die Begreifbarkeit des Netzes, da dadurch eine sehr große Anzahl von Linien entsteht, die mehr oder weniger gleiche Strecken befahren.

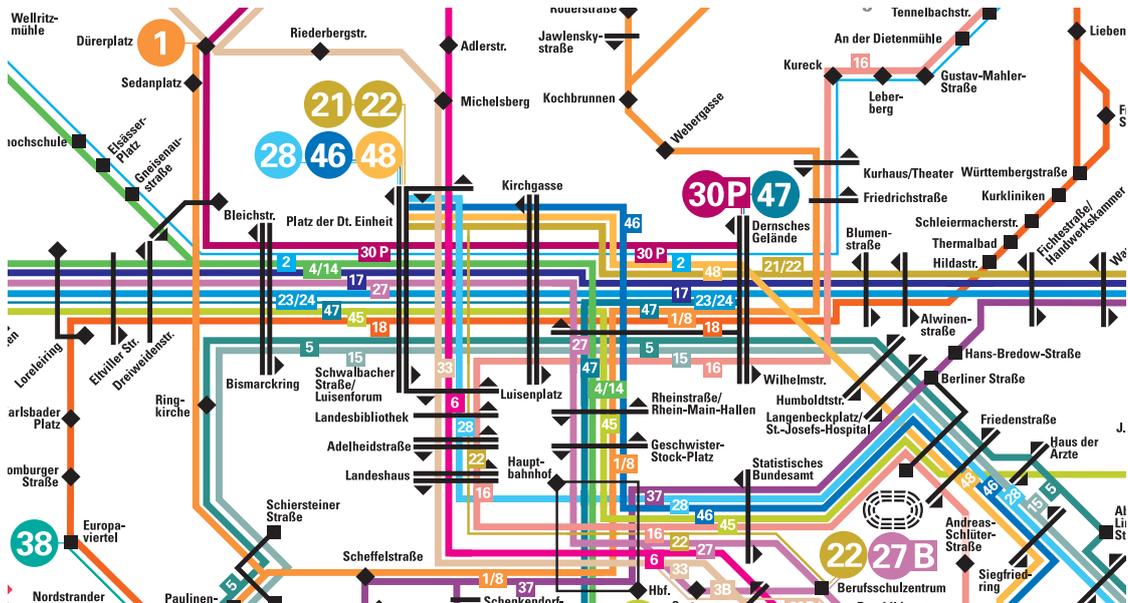


Abbildung 2.13.: Ausschnitt aus dem Wiesbadener Liniennetzplan. Im Stadtzentrum verkehren die Linien stark gebündelt, weiter außerhalb verzweigen sie sich. Die große Zahl an Linien auf engem Raum beeinträchtigt jedoch die Übersichtlichkeit.

Quelle: ESWE Verkehr,

http://www.eswe-verkehr.de/images/download/Liniennetzplan_2010.pdf

Die Philosophie hinter der Linienbildung ist besonders schwer zu bewerten. Die Übersichtlichkeit ist gemäß Simonis und Wall bei reinen Radialnetzen ohne Linienüberlagerungen am besten (vgl. Simonis und Wall 1980, S. 29; S. 95). Die Führung starker Hauptlinien ohne Verzweigungen folgt dieser Idee am ehesten, während Linienbündel einer ausgefeilten Liniennummernsystematik bedürfen, um erfassbar zu sein (vgl. Simonis und Wall 1980, S. 28). Auffächerungen wie in Tübingen und Hagen sind für Nutzer der Knotenpunkte gleich verständlich wie Linienbündel, während ein Einsteigen zwischen Knotenpunkten entweder ein schlechteres Angebot bedeutet oder von den Nutzern gute Netz- und Fahrplankenntnisse erfordert.

²⁶Lokalausweis am 26. April 2010.

Die Linienbildungsphilosophie von **Graz** kann man am ehesten mit jener von Wiesbaden vergleichen: Das Straßenbahn- und Hauptbusliniennetz (Ausnahme: Linie 34) ist als innerstädtische Parallelführung mehrerer Linien mit Verzweigungen im Außenbereich konzipiert, nur in seltenen Fällen (Linien 39, 40 und 67) gehen – wie in Prag – Linien von einem Ast auf einen anderen über. Im Bereich der Tangential- und Außenlinien sind Parallelführungen – abgesehen vom in Kapitel 2.3.2 genannten historisch gewachsenen – selten (siehe Abbildung 2.14).

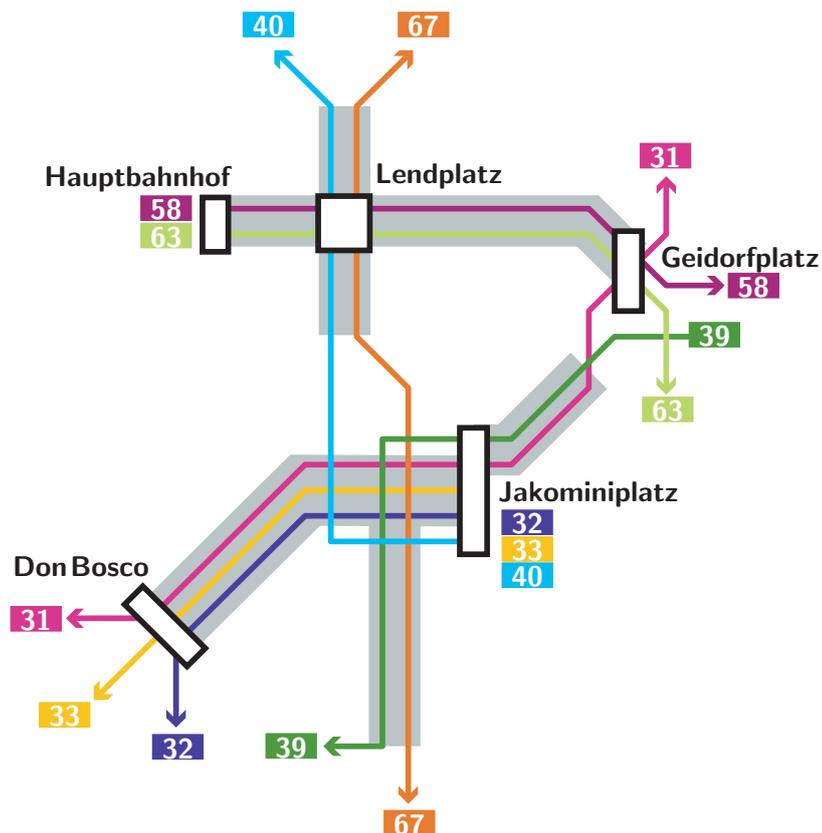


Abbildung 2.14.: Linienbündel in Graz. In den hinterlegten Bereichen verkehren zwei oder drei Linien gemeinsam und bilden so ein dichteres Intervall.

Eigene Darstellung

2.3.4. Umsteigeknoten

Welche Punkte sollen als dezentrale Umsteigestellen definiert werden?

Auf den ersten Blick scheint eine solche Frage banal, doch sind es genau diese wichtigen Punkte, die bei der Liniennetzgestaltung zu berücksichtigen sind. Es kann aus Perspektive der Reisezeit und auch durch den Bedarf zu rechtfertigen sein, an einer Endstation anderer Linien vorbeizufahren und damit den Umsteigepunkt auszulassen, doch ist es zumeist sinnvoller, den Umweg über diese in Kauf zu nehmen.

Schäffeler erhob, dass die Bildung von Bezirkszentren als Umsteigeknoten von elementarer Wichtigkeit bei der Planung von Tangentiallinien ist, da nur so überhaupt die Voraussetzungen für die sinnvolle Einrichtung von Tangentiallinien entstehen können, da ohne eine Auswahl von Knotenpunkten die Reisezeit durch Tangentiallinien nicht gesenkt werden kann (vgl. Schäffeler 2005, S. 65). Weiters bringt die Zentralisierung von Umsteigevorgängen große Vorteile bei der Abstimmung der Linien untereinander, da mehrere Linien an einem Punkt zusammenlaufen und sich nicht an unterschiedlichen Punkten begegnen.

Aus stadtplanerischer Sicht ist eine Einrichtung solcher Knoten ebenfalls wünschenswert, da durch eine Konzentration von Versorgungseinrichtungen an Nahverkehrsknoten Unterzentren geschaffen werden und umgekehrt bestehende Unterzentren durch die Einrichtung von Nahverkehrsknoten gestärkt werden. Die stadtplanerische Seite der Einrichtung bzw. Erhaltung von Bezirkszentren muss demnach immer gemeinsam mit der Einrichtung von Nahverkehrsknoten geschehen (vgl. Schäffeler 2005, S. 65).

In **München** und **Dortmund** wurde dieser Frage im Vorfeld viel Aufmerksamkeit gewidmet, da Erhebungen zeigten, dass Tangentialverbindungen in beiden Netzen unterrepräsentiert waren und diese die Subzentren untereinander verbinden sollten. Auch in **Saarbrücken** wurde im Vorfeld eine Reihe von Punkten definiert, welche für die Erreichbarkeit wichtig sind, für die Mängelherhebung als Referenzpunkte herangezogen wurden und danach die Grundlage für die Liniennetzgestaltung – jedoch ohne Tangentiallinien – bildeten (vgl. Schürmann 2004b, S. 14f.).

In **Graz** wurde mit der Errichtung von Nahverkehrsknoten in Puntigam, Liebenau und Don Bosco ebenfalls die Grundlage für die Einrichtung solcher Knoten geschaffen, die ersteren beiden sind tatsächlich im Liniennetz wichtige Verknüpfungspunkte zwischen der Straßenbahn, den Außen- und Tangentialbuslinien. Weitere bereits jetzt in Graz existierende Nahverkehrsknoten sind die Haltestellen Andritz und St. Leonhard/LKH sowie in eingeschränktem Maße Schulzentrum St. Peter, wo ebenfalls eine Verknüpfung der genannten Linientypen untereinander erfolgt. Die Zentren von Eggenberg, Wetzelsdorf und Straßgang sind schon jetzt auf direktem Wege durch Tangentialbuslinien verknüpft, dienen aber nicht als wesentliche Umsteigeknoten (zur funktionellen Aufteilung der Buslinien im Südwesten siehe Kapitel 2.3.3). All diese ‚traditionellen‘ Knoten weisen zudem eine große Bedeutung als Nahversorgungszentren auf. Im Stadtentwicklungskonzept finden sich diese Punkte ebenso wieder wie weitere Bezirkszentren, deren Bedeutung nicht nur aus stadtplanerischer, sondern auch aus Sicht des Liniennetzes groß ist (vgl. Rosmann et al. 2002, S. 83f., siehe Abbildung 2.15).

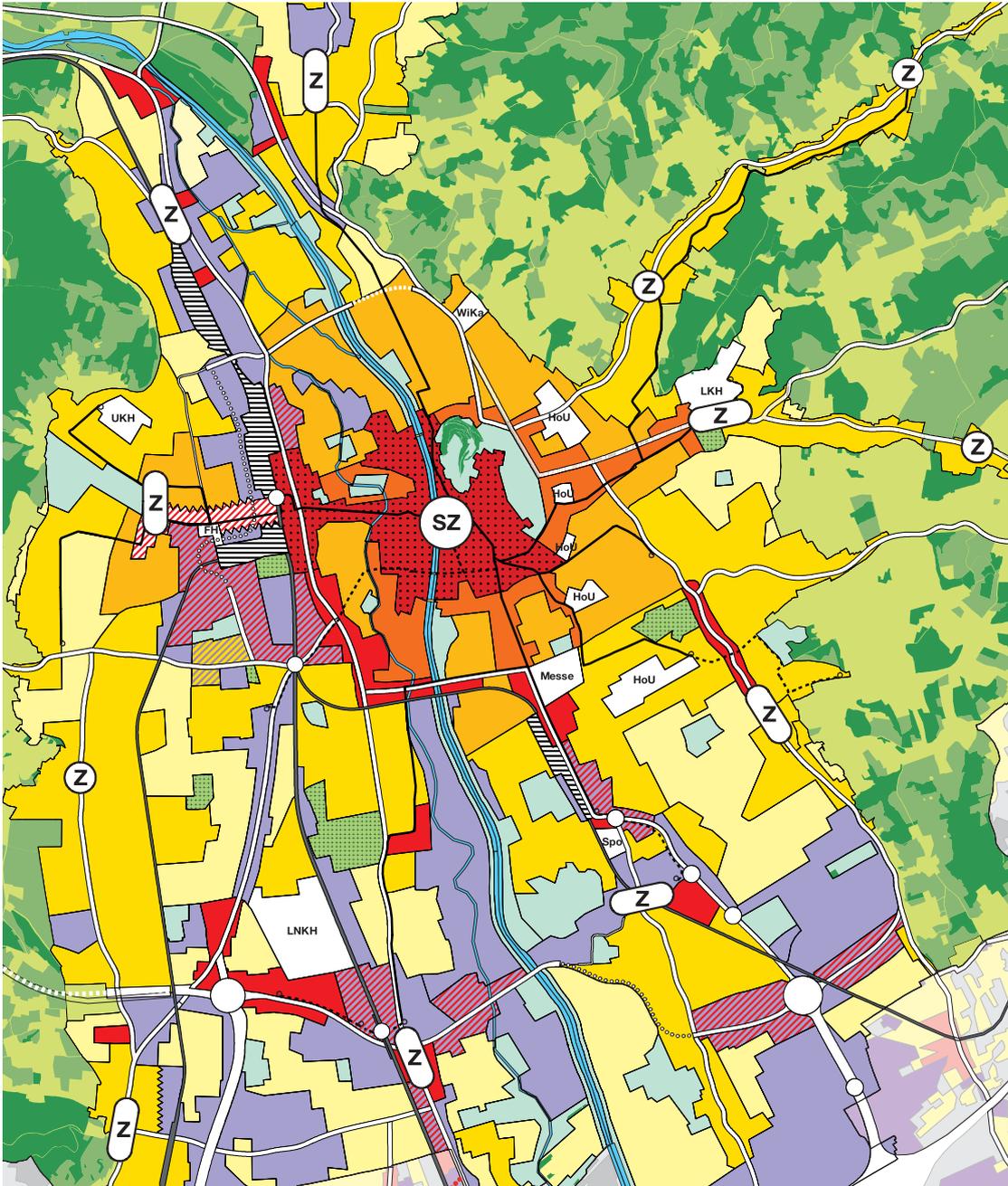


Abbildung 2.15.: Ausschnitt aus dem Plan zur funktionellen Gliederung der Stadt Graz. Subzentren sind mit ‚Z‘ markiert, wichtige Einrichtungen weiß hervorgehoben (Rosmann et al. 2002, Planbeilage).

2. Strategien zur Liniennetzoptimierung

2.3.5. Netzvariation

Wie sehr soll sich das Liniennetz in der Hauptverkehrszeit vom Schwachlastnetz unterscheiden?

Aus der Überlegung, dem öffentlichen Verkehr durch möglichst einfache Begreifbarkeit des Angebotes eine wesentliche Zugangshürde zu nehmen, gilt grundsätzlich die Bestrebung, das Angebot so konstant wie möglich zu halten. Aus diesem Hintergrund ist man bei den meisten Verkehrsbetrieben dazu übergegangen, die Modifikationen an Linienführungen, die sich aus wirtschaftlichen Überlegungen ergeben, so gering wie möglich und so transparent wie möglich zu halten. Dennoch ergeben sich insbesondere durch Nachfrageschwankungen zwischen Berufs- und Freizeitverkehr unterschiedliche Anforderungen, die allein aus wirtschaftlichen Gründen mit einem unveränderlichen Angebot, welches auf die Spitzenlast dimensioniert ist, nicht abbildbar sind. Zu diesem Zweck wurden bei vielen Verkehrsbetrieben inzwischen mehrere Typen von Netzvarianten eingeführt, die je nach Betriebszeit zum Einsatz kommen. Aus Sicht der einfachen Kommunikation bleibt dabei jedoch stets der Zielkonflikt bestehen, dass jede Modifikation im Liniennetz einen beträchtlichen Aufwand in der Fahrgastinformation sowie eine potenzielle Zugangshürde durch erschwerte Begreifbarkeit darstellt.

In **Wiesbaden** bestehen drei Liniennetze nebeneinander, welche im Tages-, Abend- und Nachtverkehr eingesetzt werden. Während das Liniennetz der Nachtbuslinien vollkommen getrennt kommuniziert und auch vermarktet wird, erfährt das Werktagsnetz im Abendverkehr einige gravierende Änderungen, um mit reduziertem Linienangebot die gleiche Netzabdeckung gewährleisten zu können. Diese Änderungen werden durch Indizes in den Liniennummern (etwa 24W statt 24) erkennbar gemacht und leicht abgesetzt im Liniennetzplan dargestellt (siehe Abbildung 2.16). Zum Teil fallen die Änderungen dabei jedoch so deutlich aus, dass eine Vermarktung des Abendverkehrs als Modifikation des Tagesnetzes an seine Grenzen stößt.

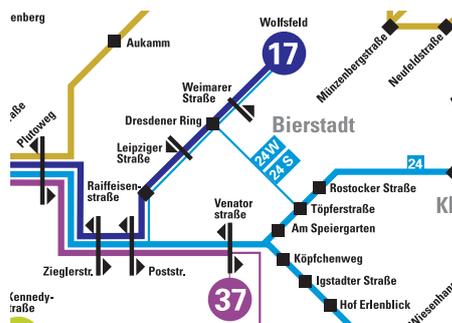


Abbildung 2.16.: Ausschnitt aus dem Wiesbadener Liniennetzplan. Im Schwachlastverkehr verkehren statt der Linie 24 die Linien 24S und 24W, die den Ast der Linie 17 nach Wolfsfeld als Umwegfahrt mitbedienen.

Quelle: ESWE Verkehr,

http://www.eswe-verkehr.de/images/download/Liniennetzplan_2010.pdf

Das Ziel der Liniennetzreform in **München** und **Dortmund** war hingegen, die neu eingerichteten höherwertigen Buslinien sowohl über den ganzen Tag als auch über die ganze Woche unverändert verkehren zu lassen, um sie – ähnlich den U-Bahn- und Straßenbahn- bzw. Stadtbahnlinien – als unveränderlichen Teil des höherwertigen öffentlichen Verkehrs vermarkten zu können. In München ist dies innerhalb des Metrobusnetzes gelungen, in Dortmund bis auf eine Linie auch. Sowohl in München als auch in Dortmund führte dies zu Fahrgaststeigerungen insbesondere im Freizeitverkehr.

Den radikalsten Schritt in diese Richtung gingen die Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) in **Berlin** in der Gestaltung des Schwachlastverkehrs: Die Metrobus- und Metrotramlinien verkehren – bis auf wenige Äste – von Montag bis Sonntag im 24-Stunden-Betrieb (siehe Abbildung 2.17). Dies hat für Nutzer den Vorteil, dass das Liniennetz zu jeder Zeit dieselbe Form hat und dementsprechend ein fester Bestandteil städtischer Infrastruktur ist (vgl. Reinhold und Krafft-Neuhäuser 2005, S. 38).

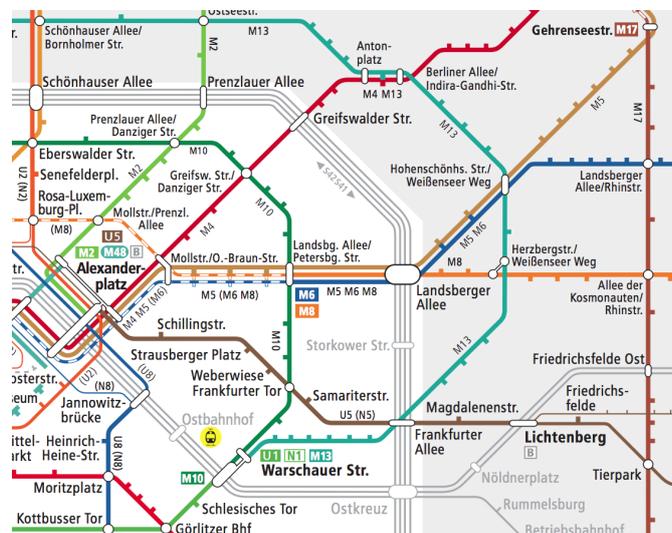


Abbildung 2.17.: Ausschnitt aus dem Berliner 24-Stunden-Netzplan. Bis auf die strichlierten Abschnitte (Betrieb von 4 bis 24 Uhr) verkehrt das Metroliniennetz 24 Stunden am Tag.

Quelle: Berliner Verkehrsbetriebe,

<http://www.bvg.de/index.php/de/binaries/asset/download/21113/file/1-1>

In **Graz** werden derzeit zwei unterschiedliche Liniennetze vermarktet: das Tagesnetz und das Nachtbusnetz. Dennoch unterscheidet sich das Liniennetz im Abend- und Sonntagsverkehr deutlich von jenem im Werktagsverkehr untertags, da sowohl das Straßenbahnnetz deutlich modifiziert wird (Einstellung der Linien 3, 4 und 6, stattdessen Führung der Linien 13 und 26 sowie Bedienung des Hauptbahnhofes durch die Linien 1 und 7) als auch im Busliniennetz durch den Wegfall der Tangentiallinien, der Einführung von Linienkombinationen (41/53 und 73U) und der Kürzung von Linien (33, 39 und 67) gravierende Änderungen entstehen (zur Veranschaulichung siehe Abbildung 2.18).

2. Strategien zur Liniennetzoptimierung

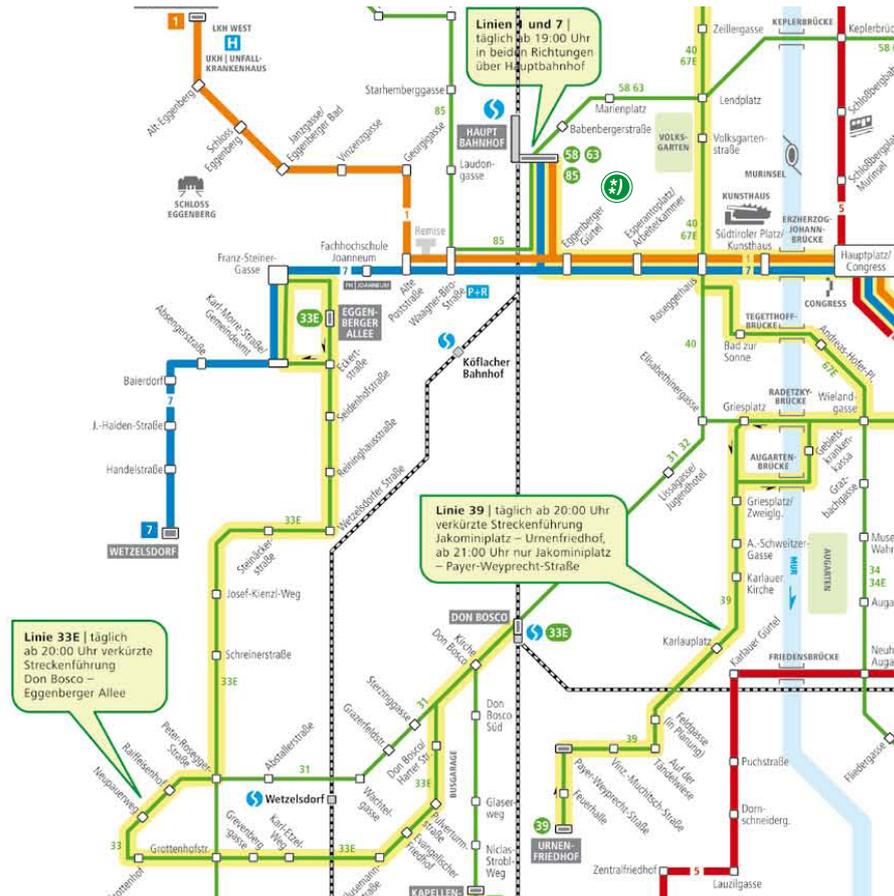


Abbildung 2.18.: Ausschnitt aus dem Liniennetzplan des Grazer Abendverkehrs. Abweichungen vom Tagesverkehr sind gelb hinterlegt.

Quelle: Steirischer Verkehrsverbund,

http://verbundlinie.at/service/_download/abendfolder.pdf

2.3.6. Taktfamilie

Welche Gruppe von Intervallen soll zur Anwendung kommen?

Unter einer Taktfamilie versteht man eine Menge von verschiedenen Intervallen, die zueinander paarweise in ganzzahligen Verhältnissen stehen. Im Allgemeinen wird weiters gefordert, dass sie auch zur Zahl 60 in einem ganzzahligen Verhältnis stehen, um jede Stunde gleichbleibende Abfahrtszeiten zu erhalten, um die Merkbarekeit zu gewährleisten (vgl. Schwager 2003, S. 3.29). Prinzipiell sind beliebige Teiler möglich, in der Praxis treten meist nur die Taktfamilie 1 (Intervalle von 5, 10, 20 und 60²⁷ Minuten) und die Taktfamilie 2 (7 1/2, 15, 30 und 60 Minuten) auf (vgl. Sparmann 2006, S. 12). Seltener

²⁷Streng genommen und auch von Sparmann so verwendet sind auch 40-Minuten-Takte Teil dieser Taktfamilie. Hierbei ist jedoch nur alle zwei Stunden die Abfahrtszeit gleich.

(und aufgrund der schweren Merkbarkeit nicht fahrgastfreundlich, vgl. Sparmann 2006, S. 13) ist die Taktfamilie 3²⁸ mit 6, 12, seltener 24 und 36 Minuten. Auf Basis einer einheitlichen Taktfamilie lassen sich Anschlüsse im Fahrplan leichter koordinieren, da stets dieselbe Umsteigezeit entsteht (vgl. Seerainer 2004, S. 29f.).

Sehr selten sind Taktfamilien, in denen das Grundintervall gedrittelt, geviertelt usw. wird – zumeist jedoch nur bei einzelnen Linien. Hierbei haben nur jene Kurse systematischen Anschluss, die im Grundtakt verkehren, die Verstärkerkurse jedoch nicht. Ein Beispiel hierfür ist die Buslinie O in **Innsbruck**, welche unter der Woche alle 5 und am Samstag alle 6²/₃ Minuten verkehrt, also jeder dritte Kurs in das 15- bzw. 20-Minuten-Taktschema der anderen Linien passt.

Der Nachteil einer einheitlichen Taktfamilie ist die bedeutend eingeschränkte Flexibilität bei der Steuerung von Kapazitäten. In **Frankfurt am Main** und **Wien**, früher auch in **Hannover**, wird die Kapazität ausschließlich über einen so genannten ‚Atmenden Takt‘ gesteuert (vgl. Siegloch et al. 1992, S. 115 ff., Sparmann 2006, S. 19), also auf Änderungen des Fahrgastaufkommens durch Dehnung oder Stauchung des Intervalls reagiert. Dies führt zu außergewöhnlichen Taktfolgen wie einem abwechselnden 4/8-Minuten-Intervall auf der Stadtbahn in **Hannover** oder einem 7-Minuten-Takt auf manchen Linien in Wien. Ein Extrembeispiel sind französische Straßenbahnbetriebe wie zum Beispiel **Strasbourg**, **Nantes** oder **Grenoble**, wo auf Taktfahrpläne zumeist überhaupt zugunsten einer völlig freien Gestaltung der Fahrzeugfolgen verzichtet wird (vgl. Sparmann 2006, S. 17). Bei einer einheitlichen Taktfamilie bedeutet eine Steuerung der Kapazität stets eine Verdoppelung oder Halbierung des Angebotes oder eine Steuerung ausschließlich über Gefäßgrößen. Das Straßenbahnliniennetz von **Mannheim** im Jahr 1990 (vgl. Siegloch et al. 1992, S. 107ff.) steuerte die Kapazität ausschließlich über die Anzahl der Linien, indem weit über die Maßstäbe von Prag (siehe Kapitel 2.3.3) hinaus Parallelführungen vieler Linien mit demselben, großen Intervall zu dichteren Takten auf den einzelnen Ästen führten. Die Kapazität wurde hierbei durch eine abgestufte Einstellung einzelner Linien gesteuert, bis im Schwachlastverkehr auf jedem Ast nur noch eine Linie übrig blieb. Aus Gründen der Begreifbarkeit wurde inzwischen jedoch von diesem Konzept abgegangen (vgl. Sparmann 2006, S. 19).

Auch wenn diese Fragestellung im streng sequentiellen, ‚klassischen‘ Planungsvorgang erst nach der fertig gestellten Liniennetzkonzeption auftaucht (vgl. Sonntag 1977, S. 19), ist die Festlegung auf eine Taktfamilie im Vorfeld ein wichtiges Instrument sowohl für die Dimensionierung von Linien als auch für die Erstellung von Liniennetzen. Eine völlig getrennte Betrachtung von Liniennetz und Fahrplankontakt verkennt den hohen Grad an Interdependenz von Liniennetz und Intervall (siehe dazu auch Sonntag 1977, S. 3): Durch die Entscheidung, eine gewisse Strecke nur durch eine Linie zu bedienen, bedingt zur Bereitstellung der gewünschten Kapazität ein anderes Intervall auf dieser Linie als bei einer Parallelführung einer weiteren Linie in diesem Abschnitt.

Prinzipiell funktionieren auch Liniennetze ohne abgestimmte Taktfamilie, doch sollte gerade bei einer Neukonzeption tunlichst danach getrachtet werden, eine einheitliche

²⁸Eigene Bezeichnung.

2. Strategien zur Liniennetzoptimierung

Taktfamilie zu wählen und damit die Grundlage für eine funktionierende Anschlussplanung zu schaffen (vgl. Stottmeister et al. 2001, S. 17).

In **Graz** bestehen drei Taktfamilien²⁹: Die Straßenbahnlinien 1, 4 und 5, die Hauptbuslinien (Ausnahme: Linie 34) sowie die Anschlusslinien 48, 74, 78 und 85 verkehren in der Taktfamilie 1, während die Straßenbahnlinien 3 und 6, die Buslinie 34, alle Tangentiallinien sowie die Anschlusslinien 30 (nachmittags) 60, 61, 69, 72, 75U, 76U, 80 und 82 in der Taktfamilie 2 verkehren. Die Straßenbahnlinie 7, deren Anschlusslinie 77 sowie die Citylinie 30 vormittags verkehren im 6- bzw. 12-Minuten-Takt. Die Linien 68 und 71 verkehren nur stündlich und damit unabhängig von der Taktfamilie (siehe Abbildung 2.19). Zu Ferienzeiten werden die Straßenbahn- und Hauptbuslinien seltener bedient, dann verkehren die Linien 3 und 6 sowie die Anschlusslinien 60, 69, 72 und 76U in der Taktfamilie 1, die Linien 7, 34, 58 und 63, alle Tangentialbuslinien sowie die Anschlusslinien 61, 77 und 82 in der Taktfamilie 2. Die Linien 1, 4 und 5, alle anderen Hauptbuslinien sowie die Anschlusslinien 48, 74, 75U, 78 und 85 verkehren dann in der Taktfamilie 3 und seltener³⁰. Das Problem unterschiedlicher Taktfamilien erweitert sich damit auf die weitreichende Verwendung der Taktfamilie 3 zusätzlich zu den beiden anderen Taktfamilien. Wie eingangs erwähnt, besteht bei der Taktfamilie 3 zudem das Problem der schlechten Merkbarkeit.



Abbildung 2.19.: Schematische Darstellung der Taktfamilien in Graz: Taktfamilie **1**, **2**, **3** und **Mischstrecken**.

Eigene Darstellung

²⁹Stand: 13. September 2010.

³⁰Auf den Linien 74 und 78 ergibt sich damit ein Intervall von abwechselnd 12 und 24 Minuten, auf den Linie 75U und 80 eines von abwechselnd 24 und 36 Minuten.

2.3.7. Symmetriezeit

Zu welchem Zeitpunkt sollen systemweit die Kreuzungen von Fahrzeugen erfolgen?

Die Symmetrieminute kennzeichnet jenen Zeitpunkt, an welchem sich zwei Fahrzeuge einer Linie begegnen. Die Symmetrieminute wiederholt sich stets mit der doppelten Häufigkeit des Taktes, ein Bus im Stundentakt begegnet also jede halbe Stunde einem Gegenkurs. Die Symmetrieminute ist demnach ab einem Stundentakt nicht mehr eindeutig, da sie dann mehrmals pro Stunde auftritt. Es hat sich eingebürgert, als Symmetrieminute immer jene anzugeben, welche der vollen Stunde am nächsten ist. In Deutschland liegt die Symmetriezeit demnach bei der Minute $.58\frac{1}{2}$, in den Niederlanden bei $.03$ und in Österreich und der Schweiz genau zur vollen Stunde³¹.

Der Begriff der Symmetriezeit taucht für gewöhnlich bei überregionalen Schienenverbindungen auf (vgl. Stottmeister et al. 2001, S. 35), ist jedoch auch im Stadtverkehr relevant: Wenn die Symmetrieminute zweier Linien zu stark voneinander abweicht, entstehen an Knotenpunkten unpaarige Anschlüsse, also solche, die nur in eine Richtung gut sind. Zudem wird durch unterschiedliche Symmetrieminuten die Planung des Fahrplanes erschwert, da Anschlussplanung dann richtungsbezogen erfolgen muss und nicht mehr systematisch möglich ist (siehe Abbildungen 2.20, 2.21 und 2.22).

Die Fragestellung nach der Symmetriezeit erfolgt in jedem Fall erst nach der Erstellung des Liniennetzes und ist damit nicht mehr Bestandteil der Liniennetzerstellung, sondern der Fahrplanerstellung bzw. Optimierung, doch sollte diese Festlegung trotzdem relativ früh getroffen werden. Gerade bei neu erstellten Liniennetzen herrscht in der Fahrplanplanung große Freiheit, sodass eine Festlegung einer einheitlichen Symmetriezeit der erste Schritt nach der Erstellung eines Liniennetzes sein muss.

Prinzipiell ist ein einmal konzipiertes Fahrplankonzept unabhängig von der Wahl der Symmetrieminute, solange diese netzweit dieselbe ist. Die Festlegung sollte sich jedoch an höherrangigen Verkehrsmitteln orientieren (im Regelfall richtet sich der Busverkehr am Schienen-Nahverkehr und dieser am Fernverkehr), was jedoch im Tagesverkehr städtischer Verkehrsmittel aufgrund der hohen Taktdichte nicht notwendig ist. In dünner besiedelten Gegenden (und im Schwachlastverkehr) jedoch, wo die Intervalle so groß sind, dass eine Anschlusskoordinierung sinnvoll ist, sollte die Symmetriezeit angepasst werden – was wiederum eine Anpassung der Symmetriezeiten auch im stadtnahen Bereich nach sich zieht, um eine Anschlussplanung zu ermöglichen (vgl. Stottmeister et al. 2001, S. 33).

In **Graz** besteht derzeit keine einheitliche Symmetriezeit. Im Tagesverkehr ist die Symmetriezeit bei den meisten Linien mit 10-Minuten-Takt drei Minuten nach der vollen Stunde, während die Straßenbahnlinien 3, 6 und 7 sowie deren Anschlusslinien 60, 72, 76U, 77 und 82 genau zur vollen Stunde symmetrisch sind. Insbesondere bei Tangentialbuslinien herrscht aber keine einheitliche Symmetriezeit. Im Schwachlastverkehr kreuzen sich Straßenbahn- und deren Anschlusslinien zwei Minuten vor, während die innerstädtischen Buslinien sich 1,5 Minuten nach der vollen Stunde kreuzen. Lediglich im Spätabend- und Frühverkehr sowie im Nachtbusliniennetz herrscht netzweit die Symmetriezeit eine Minute vor der vollen Stunde.

³¹Erhebung durch Studium der jeweiligen Kursbücher in der Fahrplanperiode 2009/2010.

2. Strategien zur Liniennetzoptimierung

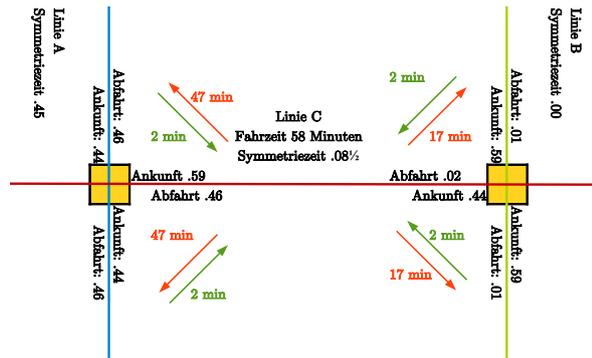


Abbildung 2.20.: Linienverknüpfung bei unterschiedlicher Symmetrieminute, Variante 1: die Linie **C** wird in diesem Fall an die Linien **A** und **B** mit kurzem Umstieg in einer Richtung angebunden. In die andere Richtung ergeben sich lange Wartezeiten.

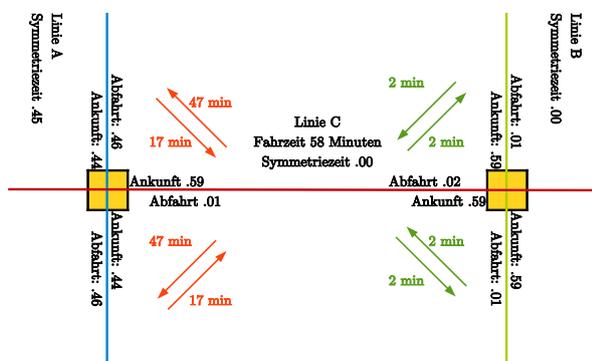


Abbildung 2.21.: Linienverknüpfung bei unterschiedlicher Symmetrieminute, Variante 2: die Linie **C** wird in diesem Fall nur an die Linie **B** angebunden. Auf die Linie **A** ergeben sich lange Wartezeiten.

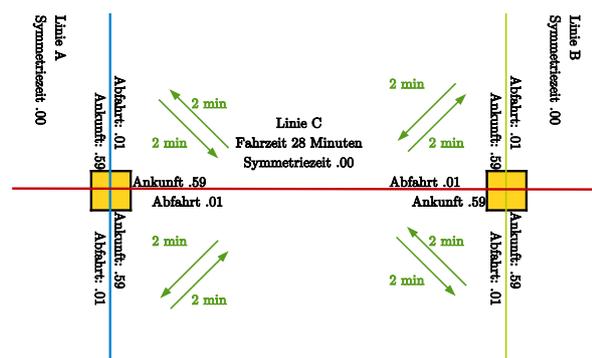


Abbildung 2.22.: Linienverknüpfung bei gleicher Symmetrieminute: die Linie **C** kann an beide Linien mit kurzem Umstieg angebunden werden.

Eigene Darstellung

3. Planungsmethodiken

Für die Planung von Liniennetzen bedarf es genauer Zieldefinitionen und definierter Bewertungsskalen, einer strukturierten Vorgehensweise, genauer Kenntnis der Nachfrage, kalibrierter Fahrzeitprofile der betroffenen Streckenabschnitte, umfangreiches Wissen um Verkehrsbehinderungen sowie detailgetreue Informationen örtlicher Bauverhältnisse.

Insbesondere die Abschätzung der Nachfrage lässt sich erst in den letzten Jahren zufriedenstellend lösen, da eine entsprechend leistungsfähige Verkehrsplanungssoftware und die entsprechenden Rechenkapazitäten nunmehr ausgereift genug sind, auch kleinteilige Nachfragemodelle berechnen und kalibrieren zu können. Unabhängig von der Güte des Nachfragemodells ist dennoch eine sauber aufbereitete Datengrundlage notwendig, die regelmäßig aktualisiert und gepflegt wird, um überhaupt eine Planungsbasis zu haben.

Im Weiteren sollen hier Methodiken vorgestellt werden, die für die Planung eines Liniennetzes eingesetzt werden können und geeignet sind, unter den oben genannten Voraussetzungen und bei richtiger Anwendung gute Lösungen zu erzielen¹. Hierbei werden Intuitivverfahren, (halbautomatische) Eröffnungsverfahren und (vollautomatische) Verbesserungsverfahren unterschieden.

3.1. Intuitivverfahren

Unter Intuitivverfahren werden all jene Verfahren verstanden, bei welchen Rechenmodelle lediglich im Variantenvergleich und bei der Bewertung Anwendung finden, deren kreative Arbeit aber den Planenden und deren Erfahrung vorbehalten bleibt. Damit sind demnach sämtliche Verfahren gemeint, deren Ausführung auf einer Analyse der Stärken und Schwächen des Bestandsnetzes, einer möglichst genauen Kenntnis der Nachfrage sowie planerischen Faustregeln basieren (vgl. Sieglöcher et al. 1992, S. 79). Bei der Verwendung von Intuitivverfahren müssen keineswegs zwingend schlechtere Ergebnisse erzielt werden als bei rechnergestützten Methoden – insbesondere können gute Planer mit entsprechendem Erfahrungsschatz bei strukturierter Vorgehensweise durchaus Lösungen erzielen, die rechnerisch ermittelten Planfällen um nichts nachstehen –, vorausgesetzt, die Datenlage der Nachfrage weist dieselbe Qualität auf.

Dennoch haftet diesen Verfahren – wie auch einigen der im Folgenden genannten automatisierten Verfahren – der gravierende Nachteil an, dass auch bei bedachter Vorgehensweise stets nur eine begrenzte Anzahl an Szenarien erstellt werden kann, unter welchen dann die Auswahl des relativen Optimums erfolgt. Eine verfahrensimmanente, laufende Optimierung ist konzeptbedingt nicht möglich.

¹Eine ‚gute Lösung‘ ist eine, die eine vorgegebene Zielfunktion (z. B. Maximierung der Fahrgastzahlen, Minimierung der Reisezeit) erreicht und gleichzeitig die Rahmenbedingungen (z. B. Fahrzeuganzahl, Kosten) beachtet.

3. Planungsmethodiken

3.1.1. Wunschliniennetz

Eine Methode, die intuitive Netzplanung gut unterstützt, jedoch auf ein Programmpaket zur Berechnung einer Verkehrsumlegung angewiesen ist, besteht in der Erstellung eines Wunschliniennetzes. Hierzu wird nicht die Matrix der Verkehrserzeugung aller Wege im ÖV von i nach j ($F_{ij}^{\text{ÖV}}$), sondern die Nachfragematrix aller Verkehrsmittel (F_{ij}) in einem Streckennetz dazu verwendet, um eine verkehrssystemfeine Verkehrsumlegung zu rechnen. Dies bedeutet, dass man eine normale Umlegung rechnet, jedoch die Linienführung, Intervalle oder gar den Fahrplan außer Acht lässt und die gesamte Nachfrage im Untersuchungsgebiet berücksichtigt². Dies führt zwangsläufig dazu, dass alle vom ÖPNV befahrbaren Kanten in die Umlegung miteinbezogen werden und innerhalb dieser (und nicht innerhalb eines bestehenden Liniennetzes) der (zeit-)kürzeste Weg gewählt wird. Dies führt im Endeffekt zu einem so genannten Maximalliniennetz, also einer Linie je Nachfragepaar. Aus den Kantenbelastungen lassen sich die stärkstbelasteten Kanten und aus Nachfragespinnen die Verläufe der einzelnen Linien mitsamt der Belastung dieser erkennen, die wiederum Basis für die weitere Planung sind (vgl. PTV AG 2004, S. 39). Die Ergebnisse des Wunschliniennetzes werden jedoch auch als Basis für Eröffnungsverfahren verwendet, beispielsweise im Teilstreckenverfahren nach Simonis (siehe Kapitel 3.2.2) und im Reduktionsverfahren nach Franz bzw. Hüttmann (siehe Kapitel 3.2.1). Bei ersterem dient die sich ergebende Streckenbelastung als Grundlage für die Linienerstellung, bei zweiterem werden sukzessive schwach belastete Wege aus dem Netz entfernt, bis sich eine erwünschte Netzgröße ergibt.

3.1.2. IV-Netz-Abgleich

Ein guter Anhaltspunkt für die Feststellung wichtiger Achsen auch abseits des bestehenden oder auch erwarteten ÖPNV-Liniennetzes ist der Abgleich des bestehenden Netzes mit einer Umlegung des Individualverkehrs. Diese wird im selben Schritt erarbeitet wie das oben genannte Wunschliniennetz und enthält demnach die Wegewahl des IV im Wegenetz. Analog zum Wunschliniennetz ist auch hier die Verwendung der F_{ij} -Matrix sinnvoll, wiewohl sich auch mit der reinen mIV-Nachfragematrix (F_{ij}^{mIV}) sinnvolle Ergebnisse darstellen lassen. Der Nutzen einer Weiterverwendung dieses Arbeitsschrittes in sich ist zwar gering, doch bringt alleine die Betrachtung der Wegewahl aus Sicht der IV-Nutzer bereits eine sehr gute Aussage darüber, welche Relationen und welche Wegewahl für IV-Nutzer besonders wichtig und daher nachgefragt sind.

Da in den seltensten Fällen ganze Nachfragerelationen geschlossen und unabhängig vom Angebot ein spezielles Verkehrssystem bevorzugen und damit für die jeweils anderen Verkehrsträger uninteressant sind, erhält man durch eine Betrachtung der IV-Wegewahl und insbesondere durch einen Abgleich mit dem bestehenden ÖPNV-Angebot eine gute Aussage, welche Relationen das Potenzial des öffentlichen Verkehrs ungenügend ausschöpfen.

²Ein Wunschliniennetz kann auch mit der $F_{ij}^{\text{ÖV}}$ -Matrix erstellt werden, doch bleiben dabei jene Potenziale unberücksichtigt, die nicht durch den ÖPNV erschlossen werden.

Wenn dieser Arbeitsschritt ergibt, dass ohnehin alle wichtigen IV-Verbindungen durch das Öffentlicher Verkehr (ÖV)-Netz abgedeckt werden, kann in weiteren Untersuchungen guten Gewissens davon abgesehen werden, gänzlich neue Relationen in Erwägung zu ziehen.

3.1.3. Taktfahrplan- und umlaufgerechte Netzgestaltung

Bei den meisten Algorithmen werden Fahrplan- und Umlaufplanung nicht immanent berücksichtigt. Intuitive Planung hat jedoch den Vorteil, dass bei vorheriger Festlegung auf die Taktfamilie eine integrierte Planung eines Taktfahrplanes und des Umlaufes möglich sind, da diese durch relativ einfach zu berücksichtigende Faustregeln beherrschbar sind:

Kreisgleichung: Der Weg von einem Knoten zu sich selbst muss entlang jeder möglichen Kantenkombination („Kreis“) einem ganzzahligen Vielfachen des Intervalls entsprechen.

$$\sum_{k \in K} t_k = n \cdot t_T$$

mit

K ... Menge aller Kanten eines Kreises

t_k ... Kantenfahrzeit einer Teilstrecke $k \in K$

t_T ... Intervall

$n \in \mathbb{N}^+$

(Stottmeister et al. 2001, S. 11)

Diese Regel stammt eigentlich aus der Planung integraler Taktfahrpläne im Eisenbahnwesen, ist jedoch auch bei der taktfahrplangerechten Gestaltung von ÖPNV-Netzen hilfreich (vgl. Stottmeister et al. 2001, S. 20). Benötigt man z. B. auf dem direkten Weg 10 Minuten zwischen zwei Knoten, sind die anderen Zuführungen (etwa Tangentiallinien) im Netz so zu gestalten, dass sie – bei einem 10-Minuten-Intervall – 10, 20, 30 etc. Minuten zwischen diesen zwei Knoten benötigen. Somit erhält man an beiden Knoten brauchbare Anschlussituationen. Dies gilt für schlanke Anschlüsse ebenso wie für solche, wo bei dichten Intervallen zur Absicherung die den Anschluss herstellenden Linien abwechselnd verkehren.

Kantengleichung: Die Ausbildung von Verknüpfungshaltestellen hat so zu erfolgen, dass zwischen zwei solchen Knoten eine Fahrzeit besteht, die das ganzzahlige Vielfache des halben Intervalls beträgt.

$$t_k = n \cdot \frac{1}{2} \cdot t_T$$

(Stottmeister et al. 2001, S. 11)

3. Planungsmethodiken

Auch dieses Kriterium stammt eigentlich aus dem Thema integraler Taktfahrpläne, ist aber gerade für die Ausbildung übergeordneter Umsteigepunkte (siehe Kapitel 2.3.4) nützlich, um an diesen gute Anschlüsse bieten zu können (vgl. Stottmeister et al. 2001, S. 20). Bei einem angenommenen 10-Minuten-Intervall soll also die Fahrzeit zwischen zwei Knoten also 10, 15, 20 etc. Minuten betragen, damit Verknüpfungen der Linien untereinander bereits a priori gut planbar sind.

Umlaufzeit: Die Fahrzeit zwischen zwei Endstationen einer Linie soll stets so bemessen sein, dass die doppelte Fahrzeit plus Wende-, Rüst- und Pufferzeiten ein ganzzahliges Vielfaches des Intervalls beträgt. Bei einem angenommenen 10-Minuten-Intervall, einer Wende- und Rüstzeit von zwei Minuten je Endstation und einer Pufferzeit (in der Regel abhängig von der Linienlänge) von weiteren drei Minuten soll die Fahrzeit also 15, 20, 25 etc. Minuten betragen³.

Linienwechsel: Lässt sich eine umlaufgerechte Linienlänge nur bei Nichtbedienung maßgeblicher Potenziale verwirklichen und besteht keine Möglichkeit, die unwirtschaftliche Stehzeit durch Linienverlängerung ‚auszufahren‘, besteht weiters die Möglichkeit eines Linienübergangs, also der Kombination zweier in sich ineffizienter Linienlängen an der gemeinsamen Endstation. Die Verwendung zweier getrennter Liniennummern (statt Verlängerung einer der beiden Linien über den Linienweg der anderen) ist zumeist aus Sicht einfacher Begreifbarkeit des Netzes sinnvoll, insbesondere wenn sich die Linien an einem weiteren Punkt kreuzen. Der Linienwechsel sollte an einem Punkt erfolgen, an dem die Anzahl der Durchfahrernzahlen möglichst gering ist.

Es gilt natürlich im Einzelfall, zwischen den finanziellen Nachteilen ineffizient langer Stehzeiten und den Einnahmewüchsen durch entsprechend ungünstige Linienlängen abzuwägen. Durch geschickte Umlaufverschachtelung und Linienübergänge bestehen aber zahlreiche Möglichkeiten, lange und unproduktive Stehzeiten zu vermeiden.

3.2. Eröffnungsverfahren

Eröffnungsverfahren beschreiben Möglichkeiten, ein Liniennetz so zu gestalten, dass bereits während der Gestaltung eine gute Lösung erreicht wird. Kepaptsoglou und Karlaftis bezeichnen diese im Vergleich mit Verbesserungsverfahren als „Candidate Route Generation + Route Configuration“ (Kepaptsoglou und Karlaftis 2009, S. 497). Nachteilig wirkt sich bei Eröffnungsverfahren jedoch aus, dass durch die mangelnde Korrektur des Endergebnisses die Gefahr des Erreichens lokaler (statt globaler) Optima groß ist oder, wie bei Intuitivverfahren, mehrere Varianten einem Vergleich unterzogen werden müssen. Den im Kapitel 3.3 beschriebenen Verbesserungsverfahren liegt daher in der Regel eine vereinfachte Form eines Eröffnungsverfahrens zugrunde.

Die hier vorgestellten Verfahren wurden großteils bereits 1992 vom Verband deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) und 2008 von Guihaire und Hao beschrieben und bewertet (vgl. Siegloch et al. 1992, Guihaire und Hao 2008). Dabei ist zu beachten, dass bis 1985

³Z. B. $\frac{40-2 \cdot (2+3)}{2} = 5$; $\frac{50-2 \cdot (2+3)}{2} = 10$ usw.

gerade im deutschsprachigen Raum viel Wert auf die Entwicklung von Algorithmen gelegt wurde, die voll- oder halbautomatisch die nachfragegesteuerte Konstruktion eines (Bus-) Liniennetzes ermöglichen. Aufgrund beschränkter Rechenkapazitäten beschränkten sich die damaligen Methoden auf rein heuristische Verfahren mit groben Einschränkungen und Vereinfachungen. Die seit Mitte der 90er-Jahre des 20. Jahrhunderts zuhauf aufkommenden Ansätze zur algorithmusgestützten Planung bedienen sich moderner Lösungsmöglichkeiten aus den Bereichen des Operations Research, stellen in den meisten Fällen jedoch noch eher theoretische Lösungen dar, die nur schwer auf praktische Umstände übertragbar sind.

Es stellte sich bei der Recherche weiters heraus, dass kein einziges der hier vorgestellten Verfahren jemals auf ein reales Problem angewandt und das Ergebnis auch umgesetzt wurde.

Die interessantesten Ansätze sollen hier kurz vorgestellt und bewertet werden.

3.2.1. Reduktionsverfahren nach Franz bzw. Hüttmann

Als Reduktionsverfahren im engeren Sinne wird seitens des VDV der von Franz bzw. Hüttmann entwickelte Algorithmus bezeichnet, der zunächst die Kanten eines Maximalnetzes (bei Franz ein Netz aus Luftlinien, bei Hüttmann ein den Straßenverläufen folgendes Netz) mit Widerständen belegt und darauf eine Verkehrsumlegung durchführt. Das entstandene Liniennetz wird schrittweise um wenig belastete Linien reduziert, bis die vorher definierte Anzahl von Linien erreicht wird (vgl. Franz 1975, S. 27f.). Gewissermaßen ähnelt dieses Verfahren dem bei den intuitiven Verfahren genannten Wunschliniennetz, jedoch wird dieses Netz hier nicht nur zur Unterstützung, sondern als Ausgangspunkt der Liniennetzplanung verwendet. Dieses Verfahren berücksichtigt Linienbündel implizit und ermöglicht auch die Bewertung wegfallender Direktverbindungen auf die Attraktivität nunmehr indirekt geführter Verbindungen.

3.2.2. Teilstreckenverfahren („Ansatz I“) nach Simonis

Das Teilstreckenverfahren von Simonis startet von der vollständig befüllten $F_{ij}^{\text{ÖV}}$ -Matrix aus. Je nach erwünschter Komplexität (zum Zeitpunkt der Erfindung des Verfahrens schränkte die verfügbare Rechenkapazität alleine die mögliche Komplexität bereits deutlich ein) werden dann nur die Zellenschwerpunkte des Nachfragemodells oder bereits die festgesetzten Haltestellenlagen verwendet, um zwischen allen Paaren aus Haltestellen eine Optimalroute zu wählen. Anschließend wird eine Matrix (die $w_{ij}^{\text{ÖV}}$ -Matrix) erstellt, die allen Streckenteilen des Straßennetzes die Anzahl der auf der Strecke verlaufenden Optimalrouten mit deren jeweiliger Anzahl an Fahrgästen zuweist. Diese Strecken werden wiederum als Ausgangspunkt für die progressive Liniengestaltung verwendet.

Die Linien selbst werden gebildet, indem der (an Fahrgästen) stärkst belastete Streckenteil als Ausgangsbasis für die erste Linie verwendet wird. Ausgehend von dieser Strecke wird jener angrenzende Abschnitt gesucht, welcher die größte Anzahl an Fahrgast-Optimalrouten (also Anzahl der Optimalrouten mal jeweilige Belastung der Optimalrouten) enthält, die bereits über den ersten Abschnitt führten. Dies wird wiederholt, bis

3. Planungsmethodiken

entweder eine maximale Linienlänge erreicht wird oder keine weiteren Optimalrouten auf den angrenzenden Strecken mehr vorhanden sind. Dasselbe Verfahren wird hernach am anderen Ende der betrachteten Ausgangsstrecke weitergeführt, bis die Linie auch das andere Ende erreicht hat.

Als letzter Teilschritt werden in der Nachfragematrix all jene Felder zu null gesetzt, die durch die entstandene Linie erfüllt wurden. Diese neue Matrix führt wiederum zu einer neuen $w_{ij}^{\ddot{O}V}$ -Matrix. Das Verfahren wird wiederholt, bis entweder alle Felder der $F_{ij}^{\ddot{O}V}$ -Matrix Null sind, die maximale Anzahl von Linien oder eine (nur durch grobe Abschätzung bestimmbare) maximale Anzahl von Fahrzeugen erreicht wurde (vgl. Simonis 1981, S. 49ff).

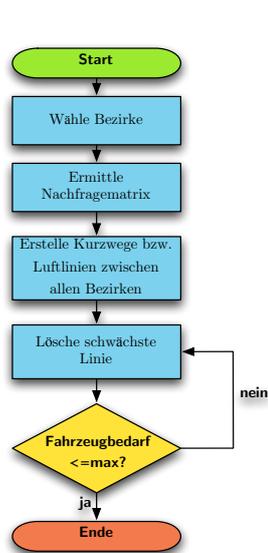


Abbildung 3.1.: Ablaufdiagramm des Reduktionsverfahrens
(nach Franz 1975, S. 27f.)

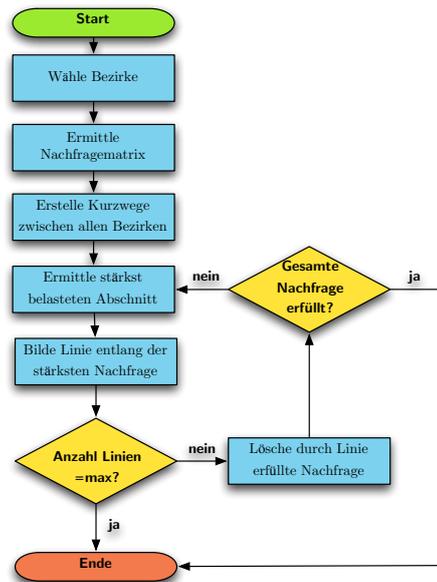


Abbildung 3.2.: Ablaufdiagramm des Teilstreckenverfahrens
(nach Simonis 1981, S. 56)

3.2.3. Divergenzfaktorverfahren („Ansatz II“) nach Simonis

Neben dem Teilstreckenverfahren, welches sich vom Zentrum nach außen vorarbeitet, erstellte Simonis mit dem „Lösungsansatz II“ (Simonis 1981, S. 66) gleichzeitig auch ein Verfahren, welches nicht die Streckenbelastung im Netz als Ausgang hat, sondern den Ort der stärksten Nachfrage.

Ein Kernbestandteil dieser Methode ist der so genannte Divergenzfaktor, welcher den Prozentsatz angibt, um wie viel eine Linienführung von der Optimalroute abweichen darf, um immer noch konkurrenzfähig zu sein. Der Divergenzfaktor ist gleichzeitig auch

die größte Schwachstelle des Verfahrens, da dessen Kalibrierung größte Vorsicht und Fingerspitzengefühl erfordert⁴.

Für den Beginn einer Linienkonstruktion wird zunächst intuitiv eine Reihe sinnvoller Endstationen ausgewählt, um die entstehende Linie auch sicher in nur eine Richtung erstellen zu müssen. Aus diesen Endstationen wird jene mit der größten Nachfrage (also sowohl Quell- als auch Zielverkehr aus der $F_{ij}^{\text{ÖV}}$ -Matrix) gewählt und die Linie sukzessive entlang der stärksten Nachfrage gelegt, bis das andere Ende, also jener Punkt ohne weitere Nachfrage aus dem Linienverlauf, erreicht ist. Wie beim Teilstreckenverfahren wird der Algorithmus abgebrochen, wenn eine festgesetzte Anzahl von Linien, eine maximale Fahrzeuganzahl oder – im Idealfall – die vollständige Abdeckung aller Nachfragebeziehungen durch Direktfahrten erreicht ist (vgl. Simonis und Wall 1980, S. 49f.).

3.2.4. Verkehrsstromverfahren nach Sonntag

Wie das Teilstreckenverfahren arbeitet sich auch das Verkehrsstromverfahren schrittweise entlang von Nachfragelinien vor. Der Unterschied zum Teilstreckenverfahren ist unter anderem, dass nicht auf Basis von Teilstrecken, sondern von sogenannten ‚Basislinien‘ gearbeitet wird, welche mindestens eine Folge zweier Kanten sind. Diese Basislinien werden sukzessive entlang der größten Nachfrage zu immer längeren Linien verknüpft, bis kein Attraktivitätsgewinn⁵ aus einer weiteren Verknüpfung mehr geschöpft werden kann.

Als nächster Schritt wird versucht, nach vollständigem Aufbau jenes Grundnetzes unter allen bereits verknüpften Linien durch Aufbruch bestehender Verknüpfungen, streckenweise Parallelführungen und Neuverknüpfungen eine bessere Lösung zu finden, die einerseits die mittlere Reisezeit sowie deren mittlere quadratische Abweichung vom Idealnetz (siehe Verfahren von Simonis) und andererseits die Mehrfachbelegung von Kanten trotzdem nicht über ein zuvor definiertes Maß hinaus steigert.

Es besteht nach einer solchen Generierung des Netzes immer noch ein Schritt der Bewertung und danach eine Möglichkeit, das solcherart erstellte Netz durch geringfügige manuelle Interventionen dem Ziel der Wirtschaftlichkeit und dem Zielerreichungsgrad näher zu bringen (vgl. Sonntag 1977, S. 83ff.). Das Verfahren leistet zwar implizit die Erstellung einer guten Lösung, bedarf aber immer noch des vorhin erwähnten Bewertungs- und Nachbearbeitungsschrittes.

⁴als Beispiel erreicht Simonis in einem Modellnetz mit dem Divergenzfaktor 1 (keine Abweichung von der Optimalroute erlaubt) exakt dasselbe Liniennetz wie mit dem Teilstreckenverfahren, mit dem Wert 1,5 (also einer Toleranz von 50 % der Reisezeit) ein komplett anderes Liniennetz zu sicherlich geringeren Kosten, aber mit fraglicher Attraktivität (Vgl. Simonis und Wall 1980, S. 51).

⁵Als Attraktivitätsgewinn ist in diesem Verfahren der Gewinn zusätzlicher direkt fahrender Fahrgäste zu verstehen.

3. Planungsmethodiken

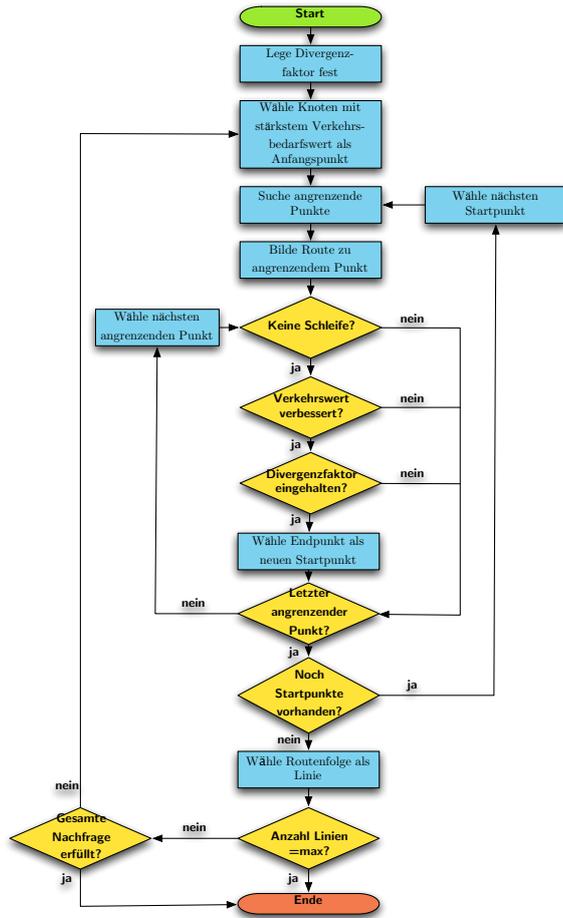


Abbildung 3.3.: Ablaufdiagramm des Divergenzfaktorverfahrens

(nach Simonis 1981, S. 67)

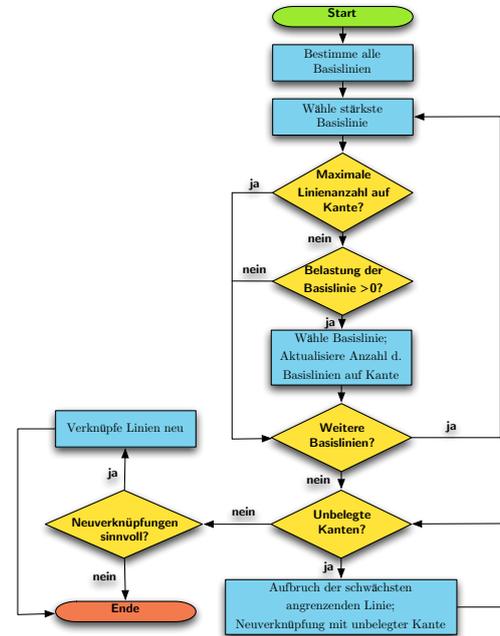


Abbildung 3.4.: Ablaufdiagramm des Verkehrsstromverfahrens

(nach Sonntag 1977, S. 97ff.)

3.2.5. Direktfahrerverfahren nach Sahling

Das von Sahling entwickelte Verfahren der Direktfahrer unterscheidet sich, obwohl schon 1981 entwickelt, deutlich von den früheren Verfahren, da erstmals auch größerer Rechenaufwand in Kauf genommen wird. Die Vorgehensweise setzt ein sehr fezzelliges Verkehrsmodell voraus, welches bereits über eindeutig definierte Haltestellenanbindungen und hinreichend definierte Nachfrage verfügt. Zwischen sämtlichen Paaren von angebotenen Haltestellen wird danach die Nachfrage errechnet und eine Linie entsprechend den Bedürfnissen eingerichtet. Dies wird so lange wiederholt, bis aufgrund der Nachfrage keine Linie mehr rechtfertigen ist. Anschließend wird versucht, die bislang ausgelassenen Nachfragepaare durch Umwegführungen bestehender Linien zu verknüpfen, wobei

3.2. Eröffnungsverfahren

jedoch diese Umwege entsprechend der gewonnenen und schon auf der Linie bestehenden Fahrgäste einen Schwellenwert nicht übersteigen dürfen. Zu guter Letzt werden noch jene Linien eingerichtet, die zwar wirtschaftlich nicht zu rechtfertigen wären, aber aufgrund einer Mindestbedienungsqualität, die ebenfalls im Vorhinein zu definieren ist, notwendig sind (vgl. Kirchhoff 2002, S. 120f.).

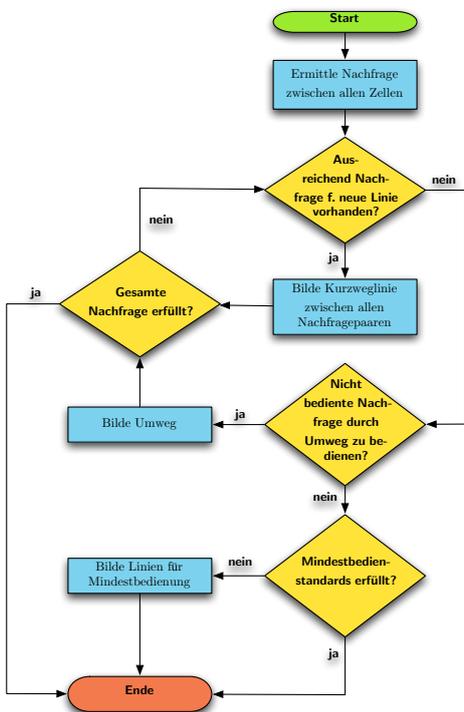


Abbildung 3.5.: Ablaufdiagramm des Direktfahrerverfahrens
(nach Kirchhoff 2002, S. 120f.)

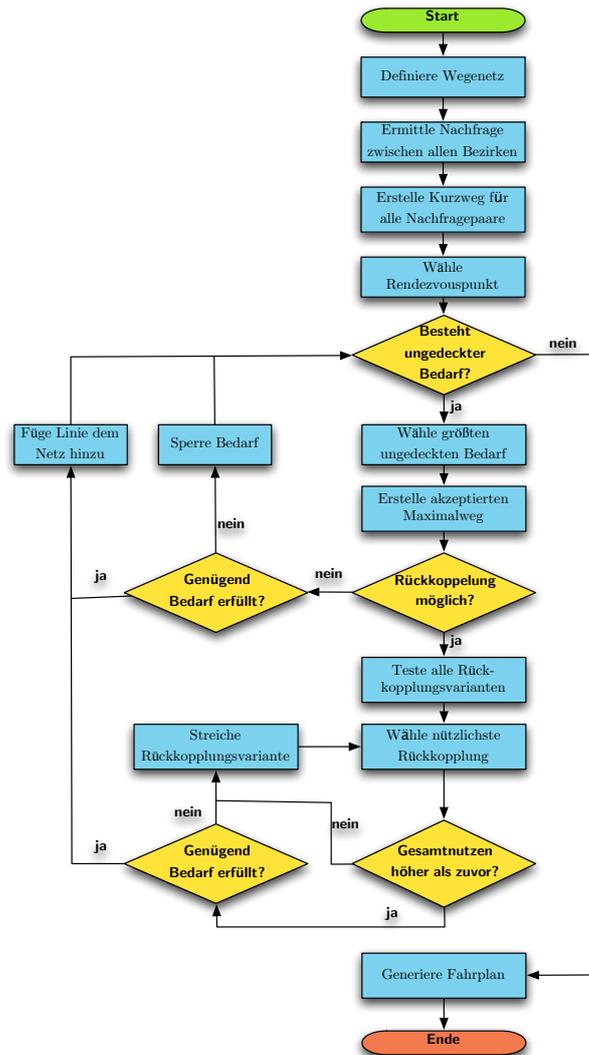


Abbildung 3.6.: Ablaufdiagramm des Rückkopplungsverfahrens
(nach Völker 2001, S. 13)

3.2.6. Rückkoppelungsverfahren nach Völker

Das Verfahren nach Völker zeichnet sich nicht nur durch seine Publikation im Jahre 2001 als deutlich modernerer Ansatz als alle zuvor genannten Verfahren aus, sondern besticht auch dadurch, dass durch vorherige genaue Analyse der meisten hier genannten Ansätze eine weit reichende Abdeckung sämtlicher Verfahren und Beseitigung immanenter Schwachstellen erfolgte.

Das Verfahren trägt den deutlich verbesserten Rechenleistungen seit 1985 Rechnung und erlaubt daher Dinge, die in früheren Verfahren zwar als richtig erkannt, jedoch aufgrund beschränkter Kapazitäten zum damaligen Zeitpunkt verworfen wurden.

Ausgangslage Dem Verfahren liegt eine $F_{ij}^{\text{ÖV}}$ -Matrix zugrunde, welche je nach Anwendungsfall die Haltestellen eines Netzes, die Siedlungsschwerpunkte oder die Anbindungen des Verkehrsmodells als Knoten enthält. Zwischen diesen Knoten werden zwei Netze aus Kanten aufgebaut: zum einen das reale Wegenetz, welches dem Stand der Technik entsprechend Restriktionen aller Art (Befahrbarkeit, Abbieger, Einbahnen) berücksichtigt und mit Reisegeschwindigkeit und eventuellen Hindernissen belegt ist, und zum anderen ein vollvermaschter, ungerichteter Graph sämtlicher Verkehrsbedarfswerte.

Vorgehensweise Zunächst wird intuitiv (also mit Ortskenntnis) ein zentraler Ausgangspunkt („Rendezvouspunkt“, Völker 2001, S. 13) ausgewählt, von welchem eine starke Nachfrage in alle Richtungen zu erwarten ist. Von diesem ausgehend wird der stärksten Nachfrage gefolgt, wobei der Weg je Fahrtrichtung getrennt im Straßennetz folgendermaßen errechnet wird: Mittels eines so genannten „Akzeptierter-Maximalweg-Algorithmus“ (Völker 2001, S. 14) wird zunächst der direkte Weg ermittelt, gleichzeitig aber (wie bereits von Sonntag 1977 vorgeschlagen, aber aus Kapazitätsgründen damaliger Rechner wieder verworfen) alle alternativen Wege, die unter einer maximal zulässigen Überschreitung des besten Weges bleiben, errechnet. Unter diesen Wegen wird jener erwählt, der den größten Nutzen erzielt.

Von nun an wird zu jedem Zeitpunkt jener Bedarf gesucht, der von allen bereits bedienten Knoten aus der höchste ist und diesem wie oben beschrieben gefolgt. Je nachdem, ob dies an ein Ende einer Linie oder einen Unterwegshalt anschließt, wird eine bestehende Linie verlängert oder eine neue eingerichtet.

Dies wird wiederholt, bis entweder das Kriterium der maximal verfügbaren Fahrzeuganzahl oder jene der vollständigen Flächenabdeckung erreicht ist.

Rückkoppelung Zu jedem Zeitpunkt ist bei diesem Verfahren eine Rückkoppelung möglich, d. h. bestehende Linien können wieder aufgebrochen werden, wenn sich durch die Verknüpfung mit dem neu entstandenen Linienast ein höherer Nutzen erzielen lässt. Dabei geht diese Rückkoppelung so weit, dass durch die implizite ununterbrochene Ermittlung des Nutzens gleichzeitig bereits aufgebrochene Linien auf anderen Wegen neu verknüpft werden können.

Die genannten Rückkoppelungsmöglichkeiten werden auch verwendet, um weiterplanen zu können, wenn zwar noch unabgedeckter Bedarf besteht, aber keine freien Kapazitäten

mehr zur Verfügung stehen. In diesem Fall wird das Netz auf mögliche Neuverknüpfungen hin untersucht, die gebundene Fahrzeuge wieder freigeben und zusammen mit dem neu abgedeckten Bedarf dennoch eine Steigerung des Nutzens ergeben.

Zuletzt wird das Netz noch um überflüssige Haltestellen bereinigt, die zu nahe an anderen Haltestellen liegen, aber für die Netzbildung keine Bedeutung haben.

Fahrplanbildung Ein maßgebender Punkt, der den Ansatz von Völker von vorangegangenen Algorithmen unterscheidet, ist die implizite Berücksichtigung des Fahrplanes. Alle definierten Rendezvouspunkte erhalten im Vorhinein bereits die Eigenschaft der minimalen Umstiegszeit und der für wendende Linien erforderlichen Wende- und Rüstzeit und werden ebenfalls im Vorhinein bereits mit einer Abfahrtsminute besetzt. Alle weiteren Linien erhalten durch die in den Wegekanten hinterlegten Fahrzeiten ebenfalls einen auf diese Abfahrtsminute bezogenen Fahrplan. Neue Linien, die nicht an den Rendezvouspunkt anschließen, werden durch automatische Anpassung an die Zubringerlinie in den Fahrplan eingepasst. Damit ist bereits in einer ersten Stufe der Planung ein Fahrplan hinterlegt, der auf Basis einer einzelnen Abfahrt optimale Anschlüsse bildet.

Durch diese implizite Berücksichtigung des Fahrplanes ist weiters bereits im Vorhinein die exakte Bestimmung verbleibender Fahrzeitreserven möglich, um die Planung der Linien nach Maßgabe des Fahrzeugeinsatzes mitplanen zu können – im Idealfall entsteht also gleichzeitig ein Fahrplan, in welchem lediglich die minimal vordefinierten Wende-, Rüst-, Ausgleichs- und Umsteigezeiten als unproduktive Zeit übrig bleiben (vgl. Völker 2001, S. 12f.).

Einschränkungen Gewiss erfordern insbesondere Tangentiallinien (welche schlichtweg nicht durch das Konzept zentraler Rendezvouspunkte beherrschbar sind) weit darüber hinausgehende Methodiken, wie sie in der Vergangenheit zuhauf präsentiert wurden (z. B. Voß und Daduna 2001), doch sind mit dieser impliziten Berücksichtigung bereits im Vorhinein sehr gute integrierte Liniennetz- und Fahrpläne erstellbar.

Stärken und Schwächen Dieses Verfahren ist unter jenen, die rein auf Basis von Teilstrecken arbeiten, mit Abstand das ausgereifteste und überzeugt durch seine ständige Rückkoppelung neuer Schritte auf bereits getroffene Entscheidungen. Die Berücksichtigung des Gesamtnetzes bei jedem Schritt ermöglicht daher eine laufende Optimierung während der Laufzeit des Algorithmus.

Der wesentliche Nachteil des Verfahrens besteht darin, dass keine Kontrolle der Linielänge nach unten erfolgt. Zwar können einzelne Linienäste immer wieder neu verknüpft werden, doch bleibt keine Möglichkeit, dadurch erzeugte Kurzlinien zu vermeiden⁶.

⁶Eine Kurzlinie entsteht beispielsweise, wenn an einem Knoten eine Neuverknüpfung zweier Äste erfolgt und ein dritter Ast übrig bleibt. Selbst wenn dieser für sich eine hohe Bewertung aufweist, führt bereits ein leicht besserer Wert der anderen beiden Linien dazu, dass der Ast seine Verknüpfung verliert. Da der Ast jedoch seine gute Bewertung beibehält, besteht die Gefahr, dass er zwar nicht anknüpfungswertig ist, aber bestehen bleibt, auch wenn er zu kurz ist, um eine Linie zu rechtfertigen.

3. Planungsmethodiken

Auch Linienbündel sind in diesem Verfahren grundsätzlich ausgeschlossen und können nur nachträglich auf Basis einer Kapazitätsanalyse eingefügt werden – dieser Schritt wiederum bedingt zusätzlich ein vom Algorithmus unabhängiges Bewertungsverfahren.

Schließlich arbeitet auch dieses Verfahren ohne einen Einfluss von außen, sodass außer der Wahl des Rendezvouspunktes keine laufende Kontrolle möglich ist.

Nicht zuletzt wurde dieser Algorithmus ohne Einbindung bestehender Verkehrsplanungssoftware erstellt, weshalb dieser Schritt vorweg durchgeführt werden muss, wenn eine Anwendung auf ein reales Problem angestrebt wird.

Zusammenfassend ist dieser Ansatz, um eine Behandlung von Linienbündeln und Kurzlinien erweitert, durchaus verfolgenswert. Dennoch ist es schwierig, in einem in sich geschlossenen Verfahren wie diesem eine Kontrolle von außen zu ermöglichen, weshalb eine verkehrsplanerisch fundierte Bewertung der gefundenen Lösung nur durch eine zusätzliche, externe Analyse erfolgen kann; dennoch besteht keine Möglichkeit, ohne gravierende Auswirkungen auf das Gesamtnetz Detailänderungen durchzuführen.

3.2.7. Linienvorschlagsverfahren nach Nökel

Das Linienvorschlagsverfahren, wie es von Nökel bei der PTV AG entwickelt wurde, ist eine Implementierung eines Linienbildungs-Algorithmus in die Programmumgebung von VISUM in Form eines Skriptes. Der Algorithmus baut in seinem Linienbildungsteil auf wesentliche Elemente bereits vorgestellter Verfahren, insbesondere jenen von Simonis (siehe Kapitel 3.2.2) und Sonntag (siehe Kapitel 3.2.4), auf, wurde jedoch modifiziert, um einerseits den gesteigerten Rechenleistungen und andererseits den verfeinerten Möglichkeiten der Linienbewertung Rechnung zu tragen. Aufgrund der angewandten Verfahren bei der Linienbewertung ist dieser Algorithmus eng an die Verwendung von VISUM geknüpft.

Voreinstellungen Zunächst muss ein Wegenetz vorliegen, in welchem Haltepunkte definiert sind, alle Kanten und Abbieger für die geplanten Verkehrssysteme geöffnet sind, die Verkehrszellen mit Anbindungen versehen sind und eine vollständig befüllte $F_{ij}^{\text{ÖV}}$ -Matrix vorliegen. Als nächster Schritt wird beim Linienvorschlagsverfahren für jeden Haltepunkt definiert, ob er ein potenzieller Endpunkt einer Linie sein kann⁷. Weiters muss die interne Abbildung der Linien bereits im Vorhinein um Felder für den Nutzen erweitert werden. Zuletzt müssen bestehende Linien, soweit sie unverändert bleiben sollen, als solche gekennzeichnet werden (vgl. Nökel 2006, S. 5).

Linienerstellung Als nächster Schritt werden zwischen allen möglichen Endpunkten über einen Kurzwege-Suchalgorithmus Linien („Kandidatenlinien“) des gewählten Verkehrssystems gebildet. Dabei wird weder auf deren erwarteten Verkehrswert noch auf

⁷Theoretisch würde dieses Verfahren auch mit der Berücksichtigung aller Haltepunkte als potenzielle Endstellen funktionieren, allerdings ist dies zum einen aus Sicht der Realisierbarkeit von Linien nicht sinnvoll und würde zum anderen durch die Arbeit auf Haltepunkt- statt auf Haltestellenbasis zu einer Vielzahl an unbrauchbaren Binnenlinien zwischen verschiedenen Bahnsteigen ein- und desselben Umsteigepunktes führen.

bestehende Linienführungen Rücksicht genommen. Die Linienbildung erfolgt in beide Fahrtrichtungen getrennt, sodass auch Einbahnführungen berücksichtigt werden können. Die Linien erhalten ein – zuvor festgelegtes – Intervall, mit welchem vorerst über den ganzen Tag Fahrten erstellt werden (Vgl. Nökel 2006, S. 6).

Neuberechnung der Nachfrage Aufgrund der bestehenden Linien wird über eine fahrplanfeine Umlegung all jene Nachfrage aus der $F_{ij}^{\text{ÖV}}$ -Matrix entfernt, die bereits abgedeckt ist. Die entsprechenden Belastungen werden dabei den bestehenden Linien zugeschlagen (vgl. Nökel 2006, S. 6). Damit sind auch Eingriffe in bestehende Netze und deren Auswirkungen abschätzbar.

Bewertung der Linien Die im Schritt ‚Linienerstellung‘ gebildeten Linien werden, jede für sich, bewertet. Dabei erfolgt eine Betriebsdatenerfassung mit anschließender taktfeiner Umlegung je Linie. Aus der generierten Fahrgastzahl (eine gewichtete Summe aus Direktfahrern, Einmal- und Zweimalumsteigern im Rahmen des zum Zeitpunkt der Bewertung bestehenden Netzes) sowie theoretisch jeder beliebigen Kennzahl wird eine Bewertung der Linie vorgenommen, aufgrund derer die Linien gereiht werden (vgl. Nökel 2006, S. 6).

Auswahl der Linien Die tatsächliche Aufnahme einer Kandidatenlinie in das Liniennetz obliegt wiederum der planenden Person. Je nach Einschätzung wird die meistversprechende Linie ausgewählt und den bestehenden Linien zugeschlagen.

Iteration Nach Auswahl der Linien wird mit dem Punkt ‚Neuberechnung der Nachfrage‘ fortgefahren (die Linien sind bereits erstellt) und iteriert, bis ein vorhin definiertes Ziel (Netzabdeckung, maximale Linienlänge, maximale Fahrzeuganzahl etc.) erreicht ist.

Stärken und Schwächen Das Linienvorschlagsverfahren ist unter den hier vorgestellten am nächsten an die Vorgehensweise eines Intuitivverfahrens angelehnt, da in jedem Fall Linien miteinander verglichen werden und nicht implizit eine Optimierung erfolgt. Die große Stärke des Verfahrens liegt in der absoluten Transparenz: durch die Verwendung der Umlegungs- und Linienbewertungsfunktionen von VISUM ist eine Anwendung dieses Verfahrens ohne Einarbeitungszeit durch alle mit VISUM vertrauten Planenden möglich, zudem besteht bei den meisten in Verwendung befindlichen Verkehrsmodellen bereits eine kalibrierte Umlegungsroutine, die ohne wesentliche Modifikationen direkt in das Verfahren eingeflochten werden kann.

Ein weiterer Vorteil des Linienvorschlagsverfahrens ist, dass nach jedem Bewertungsschritt ein Eingriff möglich ist; auch ist es möglich, jede beliebig bewertete Linie für die weitere Verarbeitung auszuwählen, wenn dies aus Sicht der planenden Person angebracht erscheint.

Ein großer Nachteil des Verfahrens ist der extrem hohe Rechenaufwand: Jeder einzelne Bewertungsschritt bedeutet eine vollständige Umlegung pro Kandidatenlinie, was sich

3. Planungsmethodiken

selbst auf für aktuelle Verhältnisse sehr gut ausgestatteten Rechnern⁸ in mehrstündigen Rechenzeiten niederschlägt.

Das Laufzeitverhalten des Algorithmus ist von der Ordnung $\mathcal{O}(n^2 \cdot m^2)$ mit n als Anzahl der möglichen Endstationen und m als Anzahl der Bezirke in der Nachfragematrix. Damit wirken sich schon leichte Erweiterungen des Untersuchungsgebietes und geringfügig mehr Endstationen deutlich auf die Rechenzeit aus.

Ein weiterer Nachteil besteht in der Reduktion der Nachfrage um jenen Bedarf, der durch bestehende Linien abgedeckt wird. Durch diesen Schritt soll verhindert werden, dass Parallelführungen mehrmals hintereinander unter den bestbewerteten Kandidatenlinien aufscheinen. Das Problem dabei ist, dass dadurch die Netzwirkung neuer Linien nicht beurteilt werden kann: Da für die Reduktion der Nachfrage eine gewöhnliche Umlegung verwendet wird, wird alle Nachfrage nach Möglichkeit auf das Bestandsnetz umgelegt. Da einmal umgelegter Verkehrsbedarf nicht mehr für weitere Schritte berücksichtigt wird, bleibt er auf der vorhin gewählten Route, auch wenn sich durch eine neu eingeführte Linie ein Reisezeitvorteil ergäbe. Diesem Problem kann jedoch begegnet werden, indem auf die Reduktion verzichtet wird. Dem Problem der Parallelführungen kann dadurch begegnet werden, dass nach jedem Schritt alle zur eben ausgewählten Linie parallelen Kandidaten so lange inaktiv gesetzt werden, bis das Liniennetz weitestgehend erstellt wurde und danach Linienbündel auf Basis notwendiger Kapazität gebildet werden. In linienbündellastigen Netzen wie in Graz ist dabei einerseits eine gute Netzkenntnis vonnöten und andererseits bereits vorab eine Definition von Linienbündel-Strecken. Weiters muss die Netzerstellung bereits deutlich vor Erreichen der maximalen Flottengröße gestoppt werden, um noch ausreichend Fahrzeuge für den kapazitätsbedingten Einsatz auf Linienbündeln zur Verfügung zu haben.

3.2.8. Route Generation Algorithm nach Baaj und Mahmassani

Baaj und Mahmassani entwickelten 1994 mit dem Route Generation Algorithm (RGA) einen Algorithmus, der die Gesamtwirkung von Liniennetzen optimieren soll. Hierzu werden nicht nur einzelne Strecken sukzessive einem Liniennetz hinzugefügt, sondern immer eine zuvor definierte Linienanzahl.

Skeletterstellung Zunächst wird in der $F_{ij}^{\text{ÖV}}$ -Matrix jenes Nachfragepaar gewählt, welches den größten Bedarf ausweist. Zwischen jenen Haltestellen, die die jeweiligen Zellen am besten anbinden, werden daraufhin zwei Linienwege („Skelette“) gebildet: einmal der kürzeste Weg und einmal jener nächstkürzere, der sich um einen gewissen Anteil vom kürzesten Weg unterscheidet. Dafür werden mit einem *k-shortest path*-Algorithmus die zehn kürzesten Wege errechnet und neben dem kürzesten Weg jener ausgewählt, der z. B. zu mehr als 50 % unterschiedliche Haltestellen aufweist. Der Prozentsatz, um welchen die *k-kürzeste* Linie von der kürzesten Linie abweichen muss, beeinflusst das Ergebnis hierbei deutlich, da ein zu geringer Prozentsatz die Gefahr birgt, dass bereits eine einmalige Abweichung in Nebengassen zur *k-kürzesten* Linie führt, während ein zu hoher

⁸Quadcore à 3 GHz mit 8 GB RAM; 64-Bit-Version von VISUM mit voller Parallelisierung.

3.2. Eröffnungsverfahren

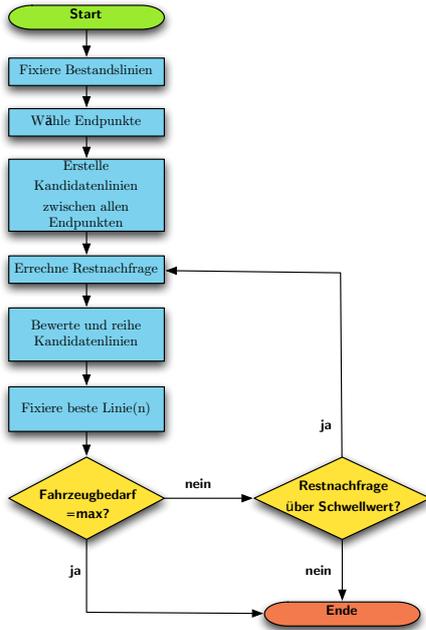


Abbildung 3.7.: Ablaufdiagramm des Linien-vorschlagsverfahrens

(nach Nökel 2006, S. 3)

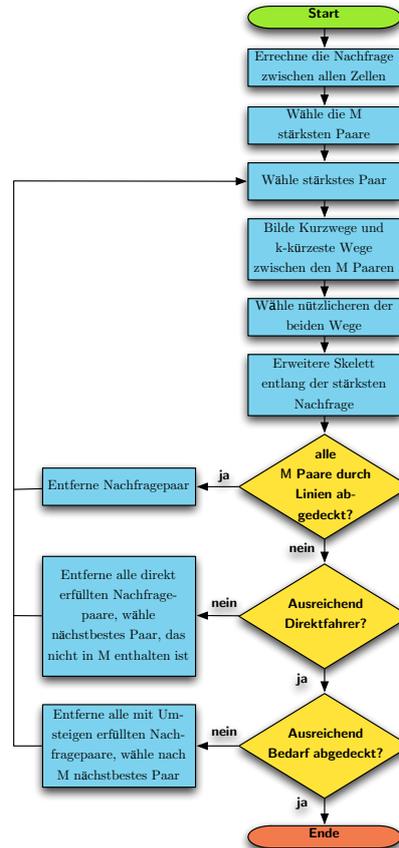


Abbildung 3.8.: Ablaufdiagramm des RGA

(nach Baaj und Mahmassani 1995, S. 34)

3. Planungsmethodiken

Prozentsatz zu großen Umwegen und damit sinnlosen Alternativvorschlägen führen kann. Eine Eruiierung des genauen Prozentsatzes hängt stark vom zugrunde liegenden Wegenetz ab und wurde bei Baaj und Mahmassani auch nicht näher untersucht. Nach Erstellung der ersten beiden Linien wird die Erstellung so lange mit dem jeweils nächstwichtigen Nachfragepaar wiederholt, bis die vorhin definierte Anzahl von Linien erstellt wurde (vgl. Baaj und Mahmassani 1995, S. 33).

Linienerstellung Schrittweise werden daraufhin die Skelette an beiden Enden verlängert. Unter den benachbarten nächsten Knoten stehen dabei jene zur Auswahl, die noch nicht in der aktuellen Strecke enthalten sind, noch nicht in zu großem Maße von anderen Linien bedient werden (wenn ein zu großer Prozentsatz des Gesamtbedarfs einer Haltestelle bereits abgedeckt ist, wird von einem zu kleinen Nutzen einer zusätzlichen Erschließung ausgegangen), die Linie nicht zu ‚zirkulär‘ werden lassen (d. h. die beiden Endstationen wären über einen Weg verbunden, der um soviel länger als der kürzeste Weg ist, dass ein definierter Grenzwert überschritten wird) und die nicht zu einer Überbelastung der neu hinzugekommenen Kante führen.

Die einzelnen Skelette werden daraufhin an beiden Linienenden so lange verlängert, bis entweder die maximale Linienlänge überschritten ist oder die zusätzlich gewinnbaren Fahrgäste nicht mehr in Relation zu den Kosten einer Verlängerung stünden.

Netzbewertung Die gesamte Anzahl von Linien wird danach darauf getestet, welcher Prozentsatz des Gesamtbedarfs durch Direktverbindungen abgedeckt ist und welcher durch Verbindungen mit einmal Umsteigen. Dies wird einmal mit dem Netz der kürzesten Wege und einmal mit jenem der zweitkürzesten Wege durchgeführt. Werden zuvor definierte Werte überschritten (beispielsweise 50 % des Bedarfs per Direktverbindung und 80 % des Bedarfs mit einmal Umsteigen), gilt das Liniennetz als fertig gestellt und es wird die bessere Variante (kürzester oder zweitkürzester Weg) weiterverwendet, also jene, die die Zielvorgaben (z. B. Minimierung der Gesamtreisezeit, Maximierung der Fahrgäste) unter Berücksichtigung der Nebenbedingungen (Flottengröße, Kosten etc.) besser erfüllt. Ist dies nicht der Fall oder wird die Bedingung deutlich übererfüllt, muss der Linienbildungsalgorithmus von neuem, allerdings mit einer modifizierten Zahl von Ausgangsskeletten, gestartet werden.

Stärken und Schwächen Die Berücksichtigung der *k-kürzesten* Strecke ist der besonders herausragende Vorteil dieses Verfahrens und unterscheidet ihn deutlich von allen anderen Eröffnungsverfahren. Durch diese Berücksichtigung sind auch Linien zulässig, die bei anderen Verfahren erst bei der Detailplanung in Form von Linienzusammenlegungen entstehen. Dieses Verfahren stellt damit eine Verfeinerung des Linienvorschlagsverfahrens dar und flechtet Elemente des Teilstreckenverfahrens (nach der Skeletterstellung Verfolgung der stärksten Ströme) ein, ohne das Prinzip der schrittweisen Linienbewertung zu verletzen.

Der wesentliche Nachteil dieses Verfahrens liegt darin, dass er bislang noch keine Anwendung fand⁹ und damit nur auf theoretischer Basis einer Kalibrierung unterzogen wurde. Weiters erfolgte die Implementierung losgelöst von bestehender Planungssoftware, womit eine Kalibrierung und vor allem eine verkehrsplanerisch fundierte Netzanalyse nur innerhalb des Algorithmus möglich ist. Da die Bewertung nicht laufend überwacht werden kann und immer ein ganzes Netz auf einmal erstellt wird, kann die verkehrsplanerische Expertise nur am Ende der Netzerstellung erfolgen; nachträgliche Modifikationen eines einmal erstellten Netzes haben damit nicht von außen abschätzbare Folgen.

Zusammenfassend kann dieses Verfahren sicherlich als verfolgenswert betrachtet werden, das Hauptaugenmerk muss dabei auf der Implementation in gängige Verkehrsmodelle und der Wahrung verkehrsplanerischer Eingriffs- und Kontrollmöglichkeiten liegen.

3.3. Verbesserungsverfahren

Neben den eben erwähnten Eröffnungsverfahren, die verfahrensimmanent relativ gute Lösungen erzielen, diese aber nicht weiter verbessern, erschließt sich mit dem Feld der Verbesserungsverfahren eine Reihe von Möglichkeiten, mit modernen Erkenntnissen aus dem Bereich des Operations Research bestehende Lösungen zu verbessern. Kepaptsoglou und Karlaftis nennen diese Verfahren „Route Configuration“ (Kepaptsoglou und Karlaftis 2009, S. 497). Während bei der intuitiven Erstellung eines Liniennetzes eine laufende Verbesserung möglich aber kompliziert ist, da einzelne Änderungen stets Auswirkungen auf das Gesamtsystem haben, bieten Verbesserungsverfahren Möglichkeiten, lokale Optima zu verlassen und so die Lösung zu verbessern.

Die wichtigsten Vertreter von Verbesserungsverfahren sind Metaheuristiken. Diese sind grundsätzlich unabhängig von der Aufgabenstellung und haben in erster Linie die Aufgabe, Ausgangslösungen so lange zu modifizieren, bis eine ‚gute‘ Lösung entsteht. Es gibt jedoch auch Verbesserungsverfahren (wie die *Ant Colony Optimization*), die speziell auf das Anwendungsgebiet zugeschnitten und damit keine Metaheuristiken sind. Der große Vorteil der Anwendung von Metaheuristiken in der Liniennetzplanung besteht jedoch darin, dass deren Weiterentwicklung interdisziplinär und damit in weit größerem Rahmen als bei speziellen ÖPNV-Algorithmen erfolgt und somit mehr Innovation zu erwarten ist.

Die Vorgehensweise bei in der Liniennetzplanung eingesetzten Metaheuristiken setzt eigentlich auf die zuvor vorgestellten Heuristiken auf: Mittels einer dieser Methoden wird eine Anfangslösung (ein ‚gutes‘ Liniennetz) erstellt¹⁰, und dann mittels der Metaheuristik versucht, eine Verbesserung zu erzielen. Da jedoch bereits die vorgestellten Eröffnungsverfahren durchaus rechenintensiv sind, bedeutet die Anwendung von Metaheuristiken eine immense Vervielfachung des Rechenaufwandes, weshalb bedeutender Entwicklungsaufwand in die effiziente Gestaltung dieser Methoden fließen muss.

⁹Die von Baaj und Mahmassani erwähnte Anwendung auf das Stadtbusnetz von Austin diene lediglich der Bewertung einzelner Parameter und unterlag einer Reihe von Vereinfachungen (vgl. Baaj und Mahmassani 1995, S. 39ff.).

¹⁰Theoretisch kann auch ohne Verwendung einer Heuristik auf einer Zufallslösung oder auch einem Bestandsnetz aufgebaut werden.

3. Planungsmethodiken

3.3.1. Methoden

Guihaire und Hao sowie Kepaptsoglou und Karlaftis erwähnen eine Reihe von Methoden des Operations Research, die ebenfalls bereits für Probleme des TNDP Anwendung fanden. Alle hier erwähnten Metaheuristiken fanden jedoch bislang nur Anwendung in Testumgebungen oder Modellnetzen.

Simulated Annealing

Dieses Verfahren funktioniert nach dem Prinzip, dass nach Erstellung des Liniennetzes mittels Eröffnungsverfahren eine Abkühlung so simuliert wird, dass schrittweise die Anzahl der Freiheitsgrade reduziert wird. Dabei wird anfangs automatisiert eine sehr große Anzahl an Liniennetzen erstellt, die dann anhand der Zielfunktion bewertet werden. Die besten dieser Netze werden herangezogen und – je nach ‚Temperatur‘, also der Anzahl der Freiheitsgrade – modifiziert. Nach jedem Durchgang werden weitere gute Netze erzielt, deren Modifikationen jedoch durch die sinkende ‚Temperatur‘ immer geringer ausfallen (die Freiheitsgrade sind in diesem Fall die zulässigen Abweichungen der ‚Nachbarschaft‘ von der Ausgangslösung, bis eine gute Lösung erreicht wird). Durch die anfangs großen Freiheiten in der Modifikation der Netze ist die Wahrscheinlichkeit, sich in lokalen Optima zu verfangen, nur gering (vgl. Fan und Machemehl 2006a, S. 12ff.).

Genetische Algorithmen

Wie auch bei der simulierten Abkühlung werden auch bei der Verwendung genetischer Algorithmen zunächst viele Lösungen erstellt, die dann bewertet und nach Bewertung zur weiteren Verwendung selektiert werden. Nach jedem Bewertungs- und Auswahlschritt erfolgt eine *Reproduktion*, die Erstellung einer neuen *Generation*. Die Modifikation der Liniennetze erfolgt hierbei durch *Rekombination* und *Mutation*. Ersteres bedeutet, dass die besten Eigenschaften zweier Lösungen zu einer neuen Lösung kombiniert werden. Zweiteres ist das zufällige Einfügen von Modifikationen der Lösung. Dabei erfolgt nach Erstellung einer *Generation* die Reproduktion verschiedener Lösungen, wobei einerseits durch Rekombination zweier guter Lösungen eine neue Generation erstellt wird, andererseits aber durch zufällige Mutationen, also Abweichungen innerhalb einer Lösung, das vorzeitige Erreichen scheinbarer Optima verhindert wird (vgl. Tom und Mohan 2003, S. 188f.; Fan und Machemehl 2006b, S. 42f.).

Tabu Search

Eine weitere Möglichkeit ist Tabu Search, welches ähnlich eines genetischen Algorithmus verschiedene Lösungen generiert, jedoch immer nur eine beste Lösung für die nächste Generation erlaubt und alle anderen, bereits gefundenen Lösungen als nicht weiter verfolgenswert (‚Tabu‘) markiert (vgl. Kepaptsoglou und Karlaftis 2009, S. 500).

Mischmethoden

Zuletzt bietet sich eine Fülle von Möglichkeiten, zwei oder mehrere dieser Methoden zu verknüpfen, etwa Simulated Annealing und genetische Algorithmen oder Tabu Search. Dabei werden insbesondere durch die Kombination Genetischer Algorithmen mit simulierter Abkühlung gute Testergebnisse erzielt (vgl. Guihaire und Hao 2008, S. 1256; Kepaptsoglou und Karlaftis 2009, S. 500).

3.3.2. Formulierung der Zielfunktion

Es gibt eine Reihe von Ansätzen, die diese Methoden für die Planung von Liniennetzen verwenden. Wie erwähnt, sind die Ergebnisse im Forschungsfeld der Metaheuristiken noch nicht brauchbar, um auch bei realen Problemstellungen Anwendung zu finden.

Durch die Tatsache, dass Metaheuristiken per se auf viele verschiedene Optimierungsaufgaben angewendet werden können und sich die zur Anwendung gelangenden Netzerstellungsalgorithmen eine Ebene darunter befinden, können bei diesen Ansätzen nur schwer einzelne Methoden auf der Ebene verschiedener Netzerstellungsmethoden verglichen werden. Der große Aufwand bei der Verwendung von Metaheuristiken in der Netzplanung besteht demnach weniger in der Entwicklung neuer metaheuristischer Ansätze, sondern eher darin, brauchbare Zielfunktionen und Randbedingungen zu definieren, die es einem einmal gestarteten metaheuristischen Optimierungsalgorithmus erlauben, auch zuverlässig eine Lösung zu finden, die diese Kriterien bestmöglich erfüllt und trotzdem noch umsetzbare Ergebnisse erzielt.

Als Zielfunktion hat sich eine über die Nachfrage gewichtete Summe der Reisezeit und der Betreiberkosten durchgesetzt, welche je nach Anwendungsfall verfeinert wird. Derartige Zielfunktionen müssen zwingend definiert werden, da das Prinzip von Metaheuristiken die Verbesserung nur nach solchen Funktionen erlaubt. Die Gewichtung der einzelnen Komponenten verbleibt dabei stets in der Kompetenz der planenden Person.

Die Zielfunktion hat neben ihrer unbedingten Erfordernis für die Definition eines entsprechenden Algorithmus noch einen praktischen Nebeneffekt: Da solche Funktionen eine objektive Herangehensweise an den in der Einleitung beschriebenen Zielkonflikt zwischen Nutzenmaximum und Kostenminimum darstellen, lassen sie sich auch für die Bewertung von ‚klassisch‘ erstellten Liniennetzen verwenden.

Eine besonders feingliedrige Zielfunktion findet sich beispielsweise bei Fan und Mache-mehl; deren Zieldefinition hat im Wesentlichen auch bei den anderen metaheuristischen Liniennetzerstellungsalgorithmen Gültigkeit.

3. Planungsmethodiken

$$\begin{aligned}
 \min z = & C_1 \cdot \underbrace{\left(\sum_{i \in \mathbb{N}} \sum_{j \in \mathbb{N}} \sum_{r_m \in DR_{ij}} d_{ij}^{r_m} t_{ij}^{r_m} + \sum_{i \in \mathbb{N}} \sum_{j \in \mathbb{N}} \sum_{tr \in TR_{ij}} d_{ij}^{tr} t_{ij}^{tr} \right)}_{\text{Nutzerkosten}} \\
 & + C_2 \cdot \underbrace{\frac{C_v}{C_m} \cdot O_v \cdot \left(\sum_{m=1}^M \frac{T_{r_m}}{h_{r_m}} \right)}_{\text{Betriebskosten}} \\
 & + C_3 \cdot \frac{C_d}{C_m} \times \underbrace{\left(\sum_{i \in \mathbb{N}} \sum_{j \in \mathbb{N}} d_{ij} - \sum_{i \in \mathbb{N}} \sum_{j \in \mathbb{N}} \sum_{r_m \in DR_{ij}} d_{ij}^{r_m} - \sum_{i \in \mathbb{N}} \sum_{j \in \mathbb{N}} \sum_{tr \in TR_{ij}} d_{ij}^{tr} \right)}_{\text{Kosten unbefriedigter Nachfrage}}
 \end{aligned}$$

mit

- z ... Zielfunktionswert (zu minimieren)
- C_1, C_2, C_3 ... Kalibrierungs- und Gewichtungskonstanten ($C_1 + C_2 + C_3 = 1$)
- DR_{ij} ... Menge der Direktverbindungen von i nach j
- r_m ... untersuchte Direktfahrerroute $\in DR$
- $d_{ij}^{r_m}$... Nachfrage von i nach j über r_m
- $t_{ij}^{r_m}$... Reisezeit von i nach j über r_m
- TR_{ij} ... Menge der Umsteigerverbindungen von i nach j
- tr ... untersuchte Umsteigeroute $\in TR$
- d_{ij}^{tr} ... Nachfrage von i nach j über tr
- t_{ij}^{tr} ... Reisezeit über tr
- C_v ... Fahrzeugkosten pro Betriebsstunde
- C_m ... Zeitbewertungskonstante
- O_v ... Einsatzstunden der Fahrzeuge
- T_{r_m} ... Umlaufzeit der Route r_m
- h_{r_m} ... Intervall der Route r_m
- C_d ... Wert unerfüllten Bedarfs pro Person
- d_{ij} ... Gesamtbedarf von i nach j

Zusätzlich zu dieser Zielfunktion müssen jedoch noch eine Reihe von Randbedingungen eingehalten werden, welche bei Fan und Machemehl folgendermaßen formuliert werden:

$$\begin{aligned}
 & h_{\min} \leq h_{r_m} \leq h_{\max} \quad \dots \quad \text{Bandbreite zulässiger Intervalle} \\
 & L_{r_m} = \frac{Q_{r_m}^{\max} \cdot h_{r_m}}{P} \leq L_{\max} \quad \dots \quad \text{Beschränkung der Auslastung} \\
 & \sum_{m=1}^M N_{r_m} = \sum_{m=1}^M \frac{T_{r_m}}{h_{r_m}} \leq W \quad \dots \quad \text{Beschränkung der Fuhrparkgröße} \\
 & D_{\min} \leq D_{r_m} \leq D_{\max} \quad \dots \quad \text{Bandbreite der zulässigen Reiseweite} \\
 & M \leq R_{\max} \quad \dots \quad \text{Beschränkung der Anzahl von Linien} \\
 & \sum_{i \in \mathbb{N}} \sum_{j \in \mathbb{N}} \sum_{r_m \in DR_{ij}} d_{ij}^{r_m} + \sum_{i \in \mathbb{N}} \sum_{j \in \mathbb{N}} \sum_{tr \in TR_{ij}} d_{ij}^{tr} \\
 & \geq (1 - U_{\max}) \cdot \sum_{i \in \mathbb{N}} \sum_{j \in \mathbb{N}} d_{ij} \quad \dots \quad \text{Beschränkung der unbedienten Nachfrage}
 \end{aligned}$$

mit

- h_{\min} ... Minimales Intervall
- h_{\max} ... Maximales Intervall
- L_{r_m} ... Auslastungsgrad der betrachteten Route
- $Q_{r_m}^{\max}$... Maximale Belastung pro Zeiteinheit
- P ... Fahrzeugkapazität
- L_{\max} ... Maximaler Auslastungsgrad
- N_{r_m} ... Benötigte Fuhrparkgröße je Route
- W ... Bestehende Fuhrparkgröße
- D_{\min} ... Mindest-Reiseweite
- D_{\max} ... Maximale Reiseweite
- M ... Anzahl der Linien
- R_{\max} ... Maximale Anzahl der Linien
- u_{\max} ... Maximaler Anteil unbefriedigter Nachfrage ($0 \leq U_{\max} \leq 1$)

(vgl. Fan und Machemehl 2006b, S. 123f.)

3.3.3. Anwendungen

Die Forschung über verschiedene Methoden der Liniennetzerstellung findet derzeit beinahe ausschließlich im Bereich der Verbesserungsverfahren statt. Die verschiedenen Ansätze sollen hier kurz umrissen werden, für die genauere Befassung sei auf die angegebene Literatur verwiesen.

Fan und Machemehl bedienen sich des *Simulated Annealing* für die Liniennetzoptimierung. Für die Erstellung der Liniennetze wird eine *Initial Candidate Route Set Generation Procedure (ICRS GP)* verwendet, welche dem RGA von Baaj und Mahmassani nicht unähnlich ist. Diese erstellt ein Liniennetz, welches danach durch eine *Network Analysis Procedure (NAP)* auf die Erfüllung der Nebenbedingungen untersucht wird.

3. Planungsmethodiken

Durch Parametervariationen werden Lösungen erstellt, die der ursprünglichen Lösung ähnlich sind (‚Nachbarschaft‘) und ebenfalls bewertet werden. Aus dieser Menge wird jenes Netz gewählt, welches die Zielfunktion minimiert und der nächste Iterationsschritt gestartet. Während anfangs noch viele Freiheitsgrade für die Erstellung der Nachbarschaft bestehen, werden diese schrittweise reduziert, bis eine stabile Lösung besteht (vgl. Fan und Machemehl 2006b, S. 122f.).

Tom und Mohan sowie Fan und Machemehl nutzen die Herangehensweise genetischer Algorithmen für die Verbesserung bestehender Systeme. Erstere stecken mit dem *Frequency Coded Algorithm* in erster Linie die Möglichkeiten für verschiedene Herangehensweisen zur Datenstruktur ab und betrachten einen tatsächlichen Algorithmus nur am Rande. Zweitere entwickelten parallel zum Ansatz des *Simulated Annealing* auch einen genetischen Algorithmus, der auf den gleichen Grundfunktionen (ICRSGP und NAP) basiert. Auch in diesem Ansatz werden Lösungen erstellt und auf Basis der Zielfunktion bewertet. Jede Generation besteht hierbei jedoch aus mehreren Lösungen (zwischen 5 und 100), die bewertet werden. Nach Auswahl der besten Variante wird diese einer Reihe von Mutationen, Kombinationen und Reproduktionen unterzogen, um die nächste Generation zu bilden (vgl. Tom und Mohan 2003, S. 186f.; Fan und Machemehl 2006a, S. 40f.).

Zhao und Zeng schließlich verwenden zunächst einen Linienstellungsalgorithmus ähnlich jenem von Simonis, mit welchem ein Kandidatennetz erstellt wird. Mittels *Simulated Annealing* werden die Lösungen dann bewertet. Da *Simulated Annealing* jedoch anfällig ist, Schleifen zu bilden und somit keine Lösung zu finden, wird mit einer Kombination aus drei verschiedenen Methoden interveniert: Eine *Tabu Search* markiert alle bereits schlechter bewerteten Lösungen, damit sie nicht weiter verwendet werden. Anschließend werden mittels eines Greedy-Zuganges (direktes Verfolgen guter Lösungen ohne Rückkoppelungsmöglichkeiten) in all jenen Suchregionen mit relativ schlechten lokalen Optima bessere, bereits gefundene Lösungen eingefügt, um ein Verfangen in schlechten Suboptima zu vermeiden. Diese beiden Methoden führen dazu, dass der an sich auf Zufallssuche ausgelegte *Simulated-Annealing*-Ansatz zu stark beeinflusst wird, deshalb werden in einem letzten Schritt dieser Intervention zufällig neue Lösungen in den Suchraum eingefügt. Die Verfahrensmischung aus diesen vier Ansätzen wird wiederholt, bis eine ausreichend gute Lösung gefunden wird (vgl. Zhao und Zeng 2007, S. 240f.).

3.3.4. Ant Colony Optimization

Dieses Verfahren verfolgt einen gänzlich anderen Weg als die oben genannten, die Liniennetzstellung ähnelt zwar prinzipiell einem Eröffnungsverfahren, doch erfolgt eine laufende Verbesserung dadurch, dass in mehreren Durchgängen gearbeitet wird.

Ant Colony Optimization übernimmt das Prinzip von Ameisenstraßen für die Optimierung. Ameisenstraßen werden gebildet, indem einzelne Arbeiterinnen zufällig ausschwärmen und dabei eine Duftspur hinterlassen. Jene, die am schnellsten zu Futter gelangen, sind auch als erste wieder im Bau und markieren daher ‚ihre‘ Duftspur in derselben Zeit häufiger als andere, die eine weiter entfernte Futterquelle besuchen. Den stärksten markierten Duftspuren folgen weitere Arbeiterinnen, sodass sich relativ schnell Ameisenstraßen am optimalen Weg bilden. Dieses Prinzip wird dabei nicht für die Bewertung

verschiedener Netze verwendet, sondern direkt zur Netzgestaltung (vgl. Kepaptsoglou und Karlaftis 2009, S. 500).

Ant Colony Optimization wurde im Bereich der Liniennetzoptimierung erst selten angewandt, da es sich um ein recht neues Forschungsgebiet handelt. Hu et al. entwickelten einen Algorithmus dieser Art für innerstädtische Nahverkehrsnetze in China. Als ‚Nest‘ der Ameise dienen vordefinierte Endhaltestellen (siehe auch Kapitel 3.2.7), die ‚Nahrung‘ sind die Verkehrszellen, zu welchen eine Verbindung hergestellt wird, und als ‚Pheromon‘ fungiert die Reisezeit der Strecken. Damit zunächst eine Pheromonspur zustande kommt, wird im ersten Schritt eine Linie vom Ausgangspunkt zu benachbarten Haltestellen gelegt. Allen Linien wird dabei ein fester Takt zugewiesen. Im ersten Schritt werden alle Haltestellen angefahren und den befahrenen Strecken ein Attraktivitätswert (als ‚Pheromon‘) entsprechend der Reisezeit zugewiesen.

Nach dem ersten Durchgang verfolgen die ‚Ameisen‘ nur noch die stärksten bewerteten Routen, bis ein Grenzwert (maximale Linienanzahl, maximale Flottengröße etc.) erreicht wird.

Hu et al. unterziehen ein solches Netz nach einer Erstellung noch einer Verbesserung durch genetische Algorithmen, um die Vorteile der *Ant Colony Optimization* mit jener der Metaheuristiken zu verbinden (vgl. Hu et al. 2005, S. 1089f.).

3.3.5. Ansätze zur Weiterentwicklung

Durch die rege Forschungstätigkeit im Bereich der Verbesserungsverfahren ist dieser Zugang für eine weitere Beobachtung hochinteressant. Vertiefte Beachtung muss dabei der Integration der Datenstrukturen in bestehende Verkehrsmodelle geschenkt werden.

Ein wesentlicher Punkt der Weiterentwicklung dieser Ansätze bis hin zur Anwendbarkeit auf reale Problemstellungen ist die Zusammenführung der (aus dem Bereich der Mathematik und Informatik stammenden) Ansätze mit den (im ingenieurwissenschaftlichen Bereich angesiedelten) Bewertungs- und Planungsgrundsätzen; die weitgehende Parallelität von vertiefter Erforschung der Algorithmen einerseits und von intuitiver Planung realer Netze andererseits deutet auf die Notwendigkeit einer Integration der Planungsmethoden hin.

3.4. Bewertung der Methodiken

Die hier vorgestellten Algorithmen decken die gesamte Bandbreite zwischen vollkommen händisch erstellten Liniennetzen und durch mathematische Verfahren vollkommen automatisch errechneten Lösungen ab. Im Rahmen dieser Arbeit soll ein Algorithmus zur Anwendung kommen, welcher die subjektive Einschätzung der planenden Person weitgehend ausschließt, ihr aber gleichzeitig nicht die Verantwortung nimmt, planende Entscheidungen auf Basis verkehrswissenschaftlicher Analyse der Auswirkungen unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen zu treffen. Die Bewertung der hier vorgestellten Algorithmen soll daher nach folgenden Kriterien erfolgen:

- Abhängigkeit von subjektiven Entscheidungen planender Personen

3. Planungsmethodiken

- Skalierbarkeit auf reale Anwendungen
- Implementierbarkeit in das verwendete Verkehrsmodell
- Möglichkeit der Kontrolle seitens planender Personen
- Dokumentierbarkeit getroffener Entscheidungen
- Möglichkeit der Modifikation von Bewertungs- und Entscheidungsparametern

Keine der hier vorgestellten Methodiken erfuh die Anwendung bei einer realen Liniennetzreform, weshalb keine Möglichkeit besteht, die Qualität zu vergleichen. Zudem besteht die Problematik, dass die hier vorgestellten Methoden aus Sicht planender Personen in vielen Fällen Entscheidungen anhand interner Bewertungsschemata vornehmen, die zwar konfigurierbar sind, aber im Einzelfall nicht nachvollziehbar sein müssen, womit die planende Person Kontrollmöglichkeiten aus der Hand gibt. Dem unumstrittenen Vorteil, Optimierungen ‚auf Knopfdruck‘ zu erhalten, steht also der massive Nachteil fehlender Nachvollziehbarkeit entgegen.

Nicht zuletzt soll im Rahmen dieser Arbeit ein Algorithmus angewandt werden, welcher in der verwendeten Softwareumgebung für die Nachfrageanalyse (VISUM) implementierbar ist.

Das Linienvorschlagsverfahren nach Nökel (siehe Kapitel 3.2.7) ist unter den vorgestellten das einzige, welches außer der Liniengenerierung und -bewertung alle Planungskompetenzen in der Hand der planenden Person belässt. Dem Verfahren wohnt jedoch der Nachteil inne, dass die ersten erstellten Linien auf Basis eines minimalen ÖPNV-Angebotes erstellt werden, die Bewertung daher anfangs keine Rücksicht auf Umsteiger nehmen kann. Dem muss entgegengehalten werden, dass gerade die ersten Linien auf möglichst hohe Direktfahreranteile abzielen. Da das genannte Verfahren weiter speziell für den Einsatz in VISUM erstellt wurde, ergibt sich zudem eine einfache Implementierbarkeit.

Dennoch soll an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass unter den Eröffnungsverfahren das Rückkoppelungsverfahren und der RGA vielversprechende Ansätze zur Liniennetzoptimierung sind, die eine vertiefte Beschäftigung und eine Weiterentwicklung bis zur realen Anwendbarkeit verdienen. Auch der Anwendungen von Verbesserungsverfahren auf Probleme der Liniennetzoptimierung sollte vor allem aus Sicht der angewandten Verkehrswissenschaft weitere Beachtung geschenkt werden.

Diese Arbeit kann demnach nur ein erster Schritt der Anwendung solcher Methoden auf reale Probleme sein, der die Möglichkeiten der Anwendung algorithmusbasierter Liniennetzoptimierung aufzeigt und den Weg für weitere Entwicklungen weist.

4. Kennzahlen

Simonis und Wall stellen ein umfangreiches Instrumentarium zur Verfügung, um die Bewertung von Liniennetzen zu ermöglichen. Dabei werden Kennzahlen eingeführt, die verschiedene Ausgestaltungen des Liniennetzes so vergleichbar machen, dass Entscheidungen über die Güte eines Szenarios möglich sind. Simonis und Wall unterscheiden dabei zum einen die ‚unmittelbaren‘ (ohne weitere Berechnung ermittelbaren) *topologischen*, *topographischen* und *siedlungsstrukturellen* Kriterien und zum anderen die ‚mittelbaren‘ (nach aufwändigerer Berechnung ermittelbaren) *belastungsunabhängigen* von *belastungsabhängigen* Kriterien. Während unmittelbare Kriterien nur grob umrissene Aussagen erzielen, können mittelbare und dabei insbesondere belastungsabhängige Kriterien bereits sehr genau eine Aussage über die Qualität einer Liniennetzvariante geben.

Seerainer (2004) stellte bereits einen Katalog an Bewertungskriterien speziell für das Grazer ÖPNV-Netz zusammen, welcher hier einfließen soll. Dieser Katalog wird hier erweitert und präzisiert.

An dieser Stelle sei angemerkt, dass die Bewertung der Kosten eines Systems in dieser Arbeit ausdrücklich nicht vorgenommen werden soll, da die Randbedingungen hier eine kostenneutrale Liniennetzänderung bedingen. Aus diesem Grund sind a priori bereits nur minimale Abweichungen der Kosten erlaubt, welche sich in erster Linie durch die Anzahl der eingesetzten Fahrzeuge und die pro Stunde gefahrenen Kilometer manifestieren.

4.1. Nachfrageunabhängige, unmittelbare Kriterien

Hierbei handelt es sich um Kriterien, die direkt aus der Kenntnis der Topologie des Liniennetzes und deren Abgleich mit verschiedenen Strukturdaten ermittelbar sind. Dies sind der Netzbildungsfaktor sowie die Netz- und Haltestellendichte.

4.1.1. Netzbildungsfaktor

Der Netzbildungsfaktor als *topologisches Kriterium* beschreibt, wie gut Linien des gesamten Liniennetzes untereinander verknüpft sind. Dies ist ein Indikator für Umsteigehäufigkeit und Direktheit im Liniennetz.

$$\text{Netzbildungsfaktor } b = \frac{u_l}{u_N}$$

mit

u_l ... Anzahl der mit der Linie l verknüpften Linien

u_N ... Gesamtzahl der Linienverknüpfungen im Netz

(Vgl. Simonis und Wall 1980, S. 40)

4. Kennzahlen

4.1.2. Haltestellen- und Netzdichte

Die Haltestellen- und Netzdichte beschreiben als *topografische* Kriterien das Verhältnis des Liniennetzes zum zugrunde liegenden Gebiet, ist jedoch aufgrund der unterschiedlichen Einwohnerdichte verschiedener Gebiete nur beim Vergleich mehrerer Szenarien im selben Planungsgebiet sinnvoll und dennoch – vor allem im Vergleich mit den *spezifischen* Dichten – nur von bedingter Aussagekraft. Nicht zuletzt werden weder bei Simonis und Wall noch bei Galster Festlegungen zur Errechnung der Netzlänge gemacht.

$$\text{Haltestellendichte } D_{H/F} = \frac{\text{Anzahl der Haltestellen}}{\text{Gebietsfläche}}$$

$$\text{Netzdichte } D_{N/F} = \frac{\text{Netzlänge}}{\text{Gebietsfläche}}$$

(Vgl. Simonis und Wall 1980, S. 41)

Galster führt als weitere Möglichkeit an, die Anzahl der Haltestellen auf die Netzlänge zu beziehen, um die Haltestellendichte zu ermitteln.

$$\text{Haltestellendichte } d = \frac{\text{Anzahl der Haltestellen}}{\text{Netzlänge}}$$

(Vgl. Galster 2009, S. 17)

4.1.3. Spezifische Haltestellen- und Netzdichte

Werden Haltestellen- und Netzdichte auf die Einwohnerzahl bezogen, erhält man die *siedlungsstrukturellen* Kriterien – spezifische Haltestellen- und Netzdichte:

$$\text{Spezifische Haltestellendichte } D_{H/E} = \frac{\text{Anzahl der Haltestellen}}{\text{Anzahl der Einwohner}} \cdot 1000$$

$$\text{Spezifische Netzdichte } D_{N/E} = \frac{\text{Netzlänge}}{\text{Anzahl der Einwohner}} \cdot 1000$$

Hierbei lassen sich auch noch Fahrtenhäufigkeit und Platzangebot einbeziehen, um einen besseren Vergleich zu erzielen (vgl. Simonis und Wall 1980, S. 41).

4.2. Nachfrageabhängige, belastungsunabhängige, mittelbare Kriterien

Mittelbare Kriterien können erst dann berücksichtigt werden, wenn die aus dem Liniennetz resultierende Routenwahl und Reisezeiten bekannt sind. Sie liefern jedoch Messgrößen für die vergleichende Bewertung von Szenarien. Unter den *belastungsunabhängigen Kriterien* finden sich jene, die nach erfolgter Umlegung durch einen Vergleich der gewählten Routen zu errechnen sind. Diese beziehen sich bereits ganz konkret auf die Qualität eines konkreten Netzentwurfes (Vgl. Simonis und Wall 1980, S. 41).

4.2.1. Strukturpotenzial und Verkehrsgunst

Das Strukturpotenzial beschreibt, welche Teile des Planungsgebietes innerhalb einer gewissen Zeit erreichbar ist – dabei ist der ‚Strukturwert‘ einer Verkehrszelle im einfachsten Fall der dort auftretende Verkehrsbedarfswert, potenziell jedoch jeder beliebige Wert, der die Wichtigkeit einer Verkehrszelle beschreibt. Das *Strukturpotenzial* ist dabei nur binär codiert, ist also die Summe jener Strukturwerte, die innerhalb einer fix definierten Zeit t_{gr} erreichbar sind, während die *Verkehrsgunst* die Erreichbarkeiten stufenlos mit der Erreichbarkeitsfunktion $f(w_{iz})^{-1}$, abhängig vom Widerstand¹ w_{iz} , qualifiziert:

$$\text{Strukturpotenzial } SP_i = \sum_{z=1}^n \langle X_z \cdot a \rangle$$

$$\text{Verkehrsgunst } G_i = \sum_{z=1}^n \langle X_z \cdot [f(w_{iz})]^{-1} \rangle$$

mit

n ... Anzahl der Verkehrszellen

i ... Betrachtete Quellverkehrszelle

z ... Laufindex der Zielverkehrszellen

X_z ... Strukturwert einer Verkehrszelle

$$a \dots \begin{cases} 1 & \text{wenn } t_{iz} \leq t_{gr} \\ 0 & \text{andernfalls} \end{cases}$$

(Vgl. Simonis und Wall 1980, S. 41)

4.2.2. Divergenzfaktor und Netzwirksamkeit

Die Netzwirksamkeit errechnet sich als *belastungsunabhängiges* Kriterium aus dem arithmetischen Mittel der Divergenzfaktoren. Diese bezeichnen das Verhältnis eines tatsächlichen Weges zu seinem Optimum (siehe auch Kapitel 3.2.3). Der Umwegfaktor, welcher hier nicht berücksichtigt wird, setzt den Weg hingegen zur Luftlinienentfernung l_{ij} ins Verhältnis. Die Netzwirksamkeit bewertet hierbei, sofern dem Individualverkehr nicht ein vollkommen anderes Streckennetz als dem öffentlichen Verkehr zur Verfügung steht, die Attraktivität des ÖPNV-Liniennetzes im Vergleich zum mIV.

¹Gewichtete Summe aus Fahrzeit und fahrzeitäquivalenten Umsteige-, Wartezeit- und Komfortwiderständen.

4. Kennzahlen

$$\text{Netzwirksamkeit } W_N = \frac{\sum_{i,j} \frac{w_{ijr}}{w_{ijr,\text{opt}}}}{n}$$

mit

w_{ijr} ... Widerstand einer Route

$w_{ijr,\text{opt}}$... Widerstand der Optimalroute von i nach j

n ... Anzahl der Routen

(Vgl. Simonis und Wall 1980, S. 41)

Nach Lee und Vuchic wird der Umweg als *Degree of Circuity* bezeichnet und als netzweites Bewertungskriterium herangezogen.

$$\text{Degree of Circuity } DOC = \frac{\Delta t_i + t_t + p}{\min t_i}$$

mit

Δt_i ... Differenz zwischen tatsächlicher Fahrzeit und jener auf dem kürzesten Weg

t_t ... Umsteigedauer

p ... Umsteigepönale

$\min t_i$... Fahrzeit am kürzesten Weg

(vgl. Lee und Vuchic 2005, S. 5)

4.2.3. Intervallqualität

Die Bewertung des Intervalls hängt einerseits mit der Kapazität (siehe Kapitel 4.3.4) zusammen, stellt aber auch einen entscheidenden Faktor der Attraktivität eines Nahverkehrssystems dar. Das Transit Capacity Quality of Service Manual (TCQSM) betrachtet alle Intervalle unter 10 Minuten als gleich attraktiv und vergibt den weiteren Intervallstufen nach der Tradition anglo-amerikanischer Verkehrsplanung *Levels of Service* (LoS), welche von A (beste Bewertung) bis F (schlechteste Bewertung) reichen und sich aus der Bewertung von Verkehrszuständen des Highway Capacity Manual (HCM) ableiten (siehe Tabelle 4.1).

4.2. Nachfrageabhängige, belastungsunabhängige, mittelbare Kriterien

Tabelle 4.1.: Levels of Service des Intervalls

LoS	Durchschn. Intervall	Fahrzeuge/Stunde	Bemerkung
A	<10	>6	Fahrgäste benötigen keinen Fahrplan
B	10–14	5–6	Häufiges Angebot, Fahrgäste konsultieren Fahrplan
C	15–20	3–4	Höchste akzeptable Wartezeit bei versäumtem Anschluss
D	21–30	2	Unattraktives Angebot für wahlfreie Passagiere
E	31–60	1	
F	>60	<1	Unattraktives Angebot für alle Fahrgäste

(Schwager 2003, S. 3.30)

Für eine netzweite Bewertung ist es sinnvoll, die Anzahl der Fahrten pro Stunde mit der Anzahl der je Streckenabschnitt mitfahrenden Passagiere zu gewichten und den Durchschnitt dann einer Bewertung zu unterziehen. Dennoch führt dies zu keiner guten Aussage, da eine solche Bewertung einerseits dicht befahrene Abschnitte parallel geführter Linien über- und andererseits schwach belastete Abschnitte mit entsprechend geringem und unattraktivem Fahrtenangebot unterbewertet.

Eine brauchbare Aussage darüber, ob das Angebot dem Bedarf adäquat ist, ergibt sich eher durch Überlagerung der Nachfragematrix mit dem geringsten Fahrtenangebot entlang der Strecke und eine Bewertung dessen über die gesamte Nachfrage auf dieser Relation. Dennoch wird auch dadurch keine Aussage über die Qualität des gesamten Liniennetzes erreicht, sondern nur Mängel aufgezeigt. Im Vergleich mehrerer Szenarien kann daher nur eine Abwägung verschiedener Mängel über die Zahl betroffener potenzieller Fahrgäste erfolgen.

Dies soll im Folgenden durch die Intervallqualität ausgedrückt werden:

$$\text{Netzweite Intervallqualität } I = \frac{\sum_r \frac{n_r}{F_{ijr}}}{n_F}$$

mit

F_{ijr} ... Potenzial zwischen Zelle i und j über die Route r

n_r ... Anzahl der Fahrten (geringstes Angebot) auf der Route r

n_F ... Anzahl der Relationen im Netz

Damit wird also die ‚Anzahl der Fahrten pro Einwohner je Relation‘ ermittelt, also das Verhältnis zwischen Angebot und Nachfrage abgebildet.

4. Kennzahlen

4.2.4. Betriebszeit

Die Betriebszeit als Bewertungskriterium kommt bei einem Variantenvergleich in der Regel nicht zum Einsatz, da zumeist die Betriebszeit je Strecke eine Planungsvorgabe ist. Die Bewertung soll hier dennoch kurz vorgestellt werden. Die Relevanz an der Betriebszeit ergibt sich in erster Linie aus dem Freizeitverkehr (welcher oft in der Schwachlastzeit stattfindet) sowie aus Beschäftigten mit Arbeitszeiten über die Normalverkehrszeit hinaus (vgl. Schwager 2003, S. 3.31). Gemäß TCQSM ergeben sich je nach Anzahl der Betriebsstunden pro Tag verschiedene *Levels of Service* (siehe Tabelle 4.2), wobei nur jene Betriebsstunden mit einem zumindest stündlichen Angebot in die Bewertung einfließen (vgl. Schwager 2003, S. 3.31).

Tabelle 4.2.: Levels of Service der Betriebszeit

LoS	Betriebsstunden pro Tag	Bemerkung
A	19–24	Nachtangebot vorhanden
B	17–18	Abendangebot vorhanden
C	14–16	Vorfrühangebot vorhanden
D	12–13	Angebot untertags vorhanden
E	4–11	Betrieb nur zur HVZ
F	0–3	Stark eingeschränktes oder kein Angebot

(Schwager 2003, S. 3.31)

4.2.5. Umsteigehäufigkeit

Als letztes *belastungsunabhängiges*² Kriterium sei die Umsteigehäufigkeit genannt. Diese tritt als Matrix $U = \{u_{ij}\}$ auf, basiert auf der F_{ij}^{OV} -Matrix und weist jedem Nachfragepaar die Anzahl der notwendigen Umsteigevorgänge zur Befriedigung des Verkehrsbedürfnisses zu. Die Einträge weisen demnach den Wert 0 auf, wenn die Relation ohne Umsteigen bewältigt werden kann, den Wert 1 bei einmaligem Umsteigen usw. (vgl. Simonis und Wall 1980, S. 42). Die Erstellung dieser Matrix erfordert jedoch große Vorsicht, da es gerade in größeren Netzen vorkommen kann, dass Relationen mit nur einmaligem Umsteigen überwindbar sind, mit zweimaligem Umsteigen jedoch bedeutend schneller verbunden werden³. Dem kann abgeholfen werden, indem bei der Erstellung der Umsteigematrix vor Ermittlung der notwendigen Umsteigevorgänge eine Pönalisierung des Umsteigens in Zeiteinheiten erfolgt und danach jene Route gewählt wird, die nach dieser Modifikation die äquivalent schnellste Möglichkeit darstellt.

²Simonis und Wall erwähnen die Umsteigehäufigkeit als *belastungsunabhängiges* Kriterium, wiewohl sie von einer Umlegung der Verkehrsströme unabhängig ist.

³Beispielsweise kann im derzeitigen Liniennetz von Graz die Relation vom Dürrgrabenweg nach Don Bosco mit einmaligem Umsteigen am Geidorfplatz (von der Linie 41 auf die Linie 31) bewältigt werden, wiewohl eine Fahrt mit der Linie 41 nach Andritz, mit den Straßenbahnlinien 4 oder 5 bis zum Jakominiplatz und anschließend mit den Buslinien 31, 32 oder 33 bis Don Bosco wesentlich schneller ist und ein bedeutend dichteres Angebot aufweist.

4.3. Nachfrage- und belastungsabhängige mittelbare Kriterien

$$\text{mittlere Umsteigehäufigkeit } \bar{u} = \frac{\sum_{i,j} u_{ij} \cdot F_{ij}}{\sum_{i,j} F_{ij}}$$

(Vgl. Simonis und Wall 1980, S. 42)

Guihaire und Hao gehen in der Bewertung sogar so weit, dass die Nachfrage auf all jenen Relationen als nicht abgedeckt gilt, wenn die Überwindung zwei Umsteigevorgänge und/oder zwei längere Fußwege erfordert (vgl. Guihaire und Hao 2008, S. 1265).

Eine Studie unter den Benutzern des Grazer Liniennetzes, die verkehrsbetreiberübergreifend umsteigen, ergab hingegen, dass nur 28 % aller Fahrgäste nicht umsteigen, 56 % einmal, 13 % zweimal und 1,9 % dreimal umsteigen. 80 % der Fahrgäste störte dabei das Umsteigen kaum bis gar nicht. Weiters war gut ein Drittel der Befragten (38 %) bereits bei einem Zeitgewinn von unter 10 Minuten bereit, ein zusätzliches Umsteigen in Kauf zu nehmen, die meisten davon Vielfahrer. Es zeigte sich hierbei auch, dass eine übersichtliche Gestaltung der Umsteigepunkte wichtig für die Attraktivität des Umsteigens ist (vgl. Königshofer 2009, S. 66ff.).

4.3. Nachfrage- und belastungsabhängige mittelbare Kriterien

Belastungsabhängige Kriterien sind erst nach vollständiger Verkehrsumlegung auf das erstellte Netz ermittelbar.

4.3.1. Verkehrsaufwand

Der Verkehrsaufwand gewichtet die Widerstände der einzelnen Routen w_{ijr} mit der jeweiligen Fahrtenanzahl F_{ijr} und stellt somit ein gutes Maß dar, um den gesamten Verkehrsaufwand eines Liniennetzes zu bestimmen.

$$\text{Verkehrsaufwand } W = \sum_{i,j} F_{ijr} \cdot w_{ijr}$$

Spezifischer können weiters der Zeit-, Kosten- und Wegeaufwand über die Reisezeit der Routen t_{ijr} , die Kosten k_{ijr} und die Weglänge l_{ijr} errechnet werden:

$$\text{Zeitaufwand } T = \sum_{i,j} F_{ijr} \cdot t_{ijr}$$

$$\text{Kostenaufwand } K = \sum_{i,j} F_{ijr} \cdot k_{ijr}$$

$$\text{Wegeaufwand } S = \sum_{i,j} F_{ijr} \cdot l_{ijr}$$

4. Kennzahlen

Noch spezifischer und damit global vergleichbar werden diese Werte, wenn sie auf die Gesamtzahl der Fahrten bezogen werden und damit die Qualität der einzelnen Reise bestimmen.

$$\begin{aligned}\text{mittlerer Widerstand } \bar{w} &= \frac{W}{\sum_{i,j} F_{ijr}} \\ \text{mittlere Reiselänge } \bar{s} &= \frac{S}{\sum_{i,j} F_{ijr}} \\ \text{mittlere Reisezeit } \bar{t} &= \frac{T}{\sum_{i,j} F_{ijr}} \\ \text{mittlere Reisekosten } \bar{k} &= \frac{K}{\sum_{i,j} F_{ijr}}\end{aligned}$$

(Vgl. Simonis und Wall 1980, S. 42)

4.3.2. Verkehrsleistung

Als weiteres *belastungsabhängiges* Kriterium ist die Verkehrsleistung, das Verhältnis von der Luftlinienentfernung zur Reisezeit der jeweiligen Route, gibt also eine gewichtete Summe der ‚effektiven Geschwindigkeit‘ (Simonis und Wall 1980, S. 42) an. Hierbei werden topografische Randbedingungen nicht berücksichtigt, weshalb dieses Kriterium in erster Linie dem Vergleich von Szenarien mit derselben zugrunde liegenden Topografie dient.

$$\text{Verkehrsleistung } L = \sum_{i,j} F_{ijr} \cdot \frac{l_{ij}}{t_{ijr}}$$

Die mittlere effektive Geschwindigkeit ergibt sich wiederum, indem man die Verkehrsleistung des Netzes auf die Summe aller Fahrten bezieht.

$$\text{mittlere effektive Geschwindigkeit } \bar{v} = \frac{L}{\sum_{i,j} F_{ij}}$$

(Vgl. Simonis und Wall 1980, S. 42)

4.3.3. Reisezeit

Ein bedingt *belastungsabhängiges* Bewertungskriterium⁴ ist ein Reisezeitvergleich zwischen mIV und ÖPNV.

Gemäß Seerainer müssen zur Erfassung der tatsächlichen Reisezeit eine Reihe weiterer Daten zusätzlich erhoben werden:

⁴Die Reisezeit im ÖPNV ist weitestgehend belastungsunabhängig, sieht man von längeren Haltestellenaufenthalten infolge größeren Fahrgastaufkommens an einzelnen Haltestellen ab (vgl. Lee und Vuchic 2005, S. 2). Die einem Vergleich unter anderem zugrunde liegende Reisezeit im mIV jedoch ist stark belastungsabhängig, weshalb dieses Kriterium hier aufgeführt wird.

4.3. Nachfrage- und belastungsabhängige mittelbare Kriterien

Zugangszeit: Die Zugangszeit beschreibt die Dauer eines Fußweges zwischen dem Ausgangsort der Reise (z. B. der Haustür) und dem Eintreffen an der Haltestelle. Galster sieht die Zugangs- und Abgangszeit linear abnehmend von der Haltestellendichte d abhängig (zur Berechnung siehe Kapitel 4.1.2). Sie errechnet sich zu:

$$\text{Zu- und Abgangszeit } t_{\text{Zu/Ab}} = 2,95 \cdot d^{-0,29}$$

(Vgl. Galster 2009, S. 17)

Bei einer Linienlänge von 445 km⁵ und rund 430 Haltestellen im Stadtgebiet würde dies eine Zeit von 2,97 Minuten ergeben. Betrachtet man nur den Straßenbahnbereich, ergeben 69 km Linienlänge und 94 Haltestellen einen Wert von 2,70 Minuten. Im Busbereich ergeben sich mit 375 km und rund 350 Haltestellen 3,01 Minuten.

Seerainer ermittelte in Graz eine durchschnittliche Zugangszeit zur Haltestelle von 3,4 Minuten (Seerainer 2004, S. 77). Die Diskrepanz ist nicht verwunderlich, da Galster nicht angibt, wie die Linienlänge zu errechnen ist⁶

Wartezeit am Ausgangsort: Bis zu einem Intervall von 10 Minuten (vgl. Seerainer 2004, S. 14; Simonis und Wall 1980, S. 15) erfolgt der Zugang zur Haltestelle nicht fahrplanorientiert, sodass als durchschnittliche Wartezeit das halbe Intervall angesetzt werden kann, bei einem 10-Minuten-Takt ergäbe sich also eine Wartezeit von $\frac{10}{2} = 5$ Minuten. Bei längeren Intervallen erfolgt der Zugang zur Haltestelle fahrplanorientiert, sodass die durchschnittliche Wartezeit dort geringer ausfällt.

Galster macht die Wartezeit am Ausgangsort ausschließlich vom Intervall h abhängig, ohne einen Grenzwert anzugeben.

$$\text{Startwartezeit } t_{\text{SW}} = 0,7 \cdot h^{0,64}$$

(Vgl. Galster 2009, S. 18)

Bei Linien im 15-Minuten-Intervall ergäbe dies eine Startwartezeit von 3,96 Minuten, bei einem 10-Minuten-Intervall 3,06 Minuten. Für Graz wurde für Buslinien im 15-Minuten-Intervall ermittelt, dass Fahrgäste durchschnittlich 4,6 Minuten vor der fahrplanmäßigen Abfahrtszeit an der Haltestelle stehen (Seerainer 2004, S. 78).

Fahrzeit: Einen großen Teil der Reisezeit macht die reine Fahrzeit, also jene Zeit, die ohne Umsteigen in einem Beförderungsmittel verbracht wird, aus. Streng genommen zählen Stehzeiten eines Fahrzeuges an Unterwegshaltestellen nicht zur Fahrzeit, da sie dem Fahrgast lästiger erscheinen als reine Fahrzeit – im Zuge dieser Studie werden jedoch keine echten Taktknoten erstellt, sodass zumindest im ersten Planungsschritt von einer Berücksichtigung der Lästigkeit fahrplanmäßiger Stehzeiten abgesehen werden kann. Insbesondere im Schwachlastverkehr jedoch, der in Graz auf der Bildung von Taktknoten basiert, muss eine gesonderte Berücksichtigung dieser Stehzeiten erfolgen.

⁵In VISUM ermittelter Wert der Linienlänge aller Grazer Straßenbahn- und Buslinien.

⁶Insbesondere die große Anzahl an Linienbündeln in Graz könnte hierbei problematisch sein, da die gemeinsam befahrenen Strecken gemeinsam oder getrennt gezählt werden und so massiv das Ergebnis verfälschen können.

4. Kennzahlen

Umsteigezeit: Die Umsteigezeit ist nur im einfachsten Fall die Zeit zwischen der Ankunftszeit des einen und der Abfahrtszeit des anderen Verkehrsmittels. Vielmehr müssen Wartezeiten einerseits auch danach gewichtet werden, wie viele Fahrgäste diese Wartezeit betrifft (vgl. Seerainer 2004, S. 19) und andererseits nach der Lästigkeit dieser Wartezeit. Letzteres wird wie die einzelnen Reisezeitkomponenten (siehe unten) gewichtet und bewertet (vgl. Seerainer 2004, S. 19). Auch die *Anschlusswahrscheinlichkeit* ist eigentlich Bestandteil der Umsteigezeit, diese ist jedoch nur durch Untersuchung des laufenden Betriebes ermittelbar.

Abgangszeit: Wie die Zugangszeit beschreibt auch die Abgangszeit die Dauer des Fußweges zwischen Haltestelle und Zielort (z. B. der Haustür). Da grundsätzlich über den Tag verteilt symmetrische Fahrtbeziehungen (also z. B. abends derselbe Weg von der Haltestelle nach Hause zurückgelegt wird wie morgens von zuhause zur Haltestelle) angenommen werden können, kann die durchschnittliche Zugangszeit als gleich lang wie die Abgangszeit angesetzt werden.

Die einzelnen Komponenten der Reisezeit müssen entsprechend ihrer spezifischen subjektiven Gewichtung bewertet werden. Seerainer führt zwei grundsätzliche Zugänge zur Bewertung dieser Komponenten an (vgl. Seerainer 2004, S. 14f.): Die Zeitbewertungsfunktion nach Walther modifiziert jede individuelle Komponente nach einer exponentiellen Funktion und setzt verschiedene Faktoren für Fußweg, Wartezeit und Umsteigezeit an:

$$ZB = A + B \cdot t^C$$

mit dem Zeitbewertungsfaktor ZB , der Zeit t und den Faktoren A , B und C :

Reisezeitkomponente	A	B	C
Fußweg	1,1837	0,0048	3,4950
Wartezeit	1,7981	0,0337	2,7366
Umsteigezeit	1,0274	0,0798	2,3213

Der Zeitbewertungsfaktor wird schlussendlich mit der realen Zeitspanne multipliziert:

$$t^* = ZB(t) \cdot t$$

Die Fahrzeit wird hierbei ohne Modifikation verwendet (vgl. Thomä 1979, S. 21).

Das TCQSM schlägt eine Gewichtung der einzelnen Komponenten mittels einfacher Faktoren vor (siehe Tabelle 4.3).

Tabelle 4.3.: Gewichtung von Reisezeitkomponenten

	Beförderungszeit	Fußwegzeit	Wartezeit	Umsteigezeit
Durchschnittlich	1,0	2,2	2,1	2,5
Streubereich	1,0	0,8–4,4	0,8–8,1	1,1–4,4

(Schwager 2003, S. 3.20)

Der Vergleich mit konkurrierenden Verkehrsträgern ermöglicht eine Aussage zur Qualität des ÖPNV. Ein reiner Reisezeitvergleich zwischen dem unbelasteten mIV-Netz und

4.3. Nachfrage- und belastungsabhängige mittelbare Kriterien

dem ÖPNV-Netz ist hierbei wenig zielführend, da eine höhere Netzbelastung nur im mIV auch zu signifikant längeren Reisezeiten führt (vgl. Lee und Vuchic 2005, S. 2). Aus diesem Grund ist ein Reisezeitvergleich erst nach einer Umlegung und der daraus resultierenden Ermittlung der Streckenbelastungen sinnvoll. Für die Bewertung von Zu- und Abgangszeit im mIV schlägt Seerainer vor, jeweils zwei Minuten anzusetzen (vgl. Seerainer 2004, S. 80). Für die Stellplatzsuche muss je nach Struktur des Reiseziels und die dortige Parkplatzverfügbarkeit noch weitere Zeit angesetzt werden.

In Graz empfiehlt sich weiters auch ein Fahrzeitvergleich mit dem Verkehrsmittel Fahrrad, da dieses in Graz im Vergleich mit dem ÖPNV einen ähnlich hohen Anteil im Modal Split aufweist und gerade auf Distanzen unter 5 Kilometern Länge eine Konkurrenzsituation auftritt. Im vorliegenden Verkehrsmodell jedoch wird der Fahrradverkehr ob seiner Komplexität⁷ nicht berücksichtigt, weshalb ein Abgleich mit dem Radverkehr Gegenstand weiterer Untersuchungen sein muss.

Der reine Vergleich der gewichteten Reisezeiten zwischen den Verkehrsträgern greift jedoch immer noch zu kurz, da es in vielen Fällen unmöglich ist, mit dem ÖPNV Reisezeiten zu erreichen, die jenen des mIV entsprechen. Aus diesem Grund ist die Festlegung eines Faktors sinnvoll, welcher bewertet, welchen Reisezeitnachteil potenzielle Fahrgäste bereit sind in Kauf zu nehmen, um den ÖPNV zu nutzen. Seerainer geht bei der Bewertung von einem Faktor von 1,5 aus, ab welchem das Reisezeitverhältnis zwischen ÖPNV und mIV nicht mehr als ‚Sehr gut‘ betrachtet werden kann (vgl. Seerainer 2004, S. 81).

4.3.4. Kapazität

Mit ‚Kapazität‘ sei hier die Belastung einzelner Abschnitte im Verhältnis zur dort angebotenen Platzzahl verwendet. Die Kapazität eines Streckenabschnittes sollte im Allgemeinen groß genug sein, um die auftretenden Fahrgastzahlen transportieren zu können, jedoch so klein wie möglich, um die Leistung auch wirtschaftlich zu erbringen. Viele Verkehrsbetriebe haben hier Kennzahlen definiert, welche Auslastung Strecken haben sollten. Der VDV gibt auf den ersten Blick relativ niedrige Richtwerte für die Belastung an (siehe Tabelle 4.4).

Tabelle 4.4.: Richtwerte für maximale Auslastungen

HVZ	Mittelwert über die stärksten 20 Minuten	80 %
	Mittelwert über die Spitzenstunde	65 %
NVZ	Mittelwert über eine Stunde	50 %
	Für Fahrten über 15 Minuten	Sitzplatz für jeden Fahrgast
SVZ		Sitzplatz für jeden Fahrgast

(Vgl. Seerainer 2004, S. 44)

⁷Die Fahrgeschwindigkeit bei Radfahrern streut sehr stark und im Radverkehr gibt es eine deutlich höhere Anzahl an Alternativrouten als bei anderen Modi.

4. Kennzahlen

Der Grund für die so niedrig angesetzten Werte liegt darin, dass Fahrzeuge bereits bei einer Auslastung aller Sitzplätze scheinbar voll sind, obwohl noch ausreichend Stehplätze vorhanden sind. Weiters wird bei den hier genannten Auslastungsgraden stets der Mittelwert herangezogen, welcher Spitzenbelastungen über die Zeit glättet.

Zu erwähnen ist weiters, dass zu geringe Auslastungen zu Überlegungen führen können, größere Intervalle oder alternative Angebotsformen (z. B. Linientaxis) einzusetzen. Dennoch muss – siehe auch Kapitel 4.2.3 – in Abstimmung mit Mindestbedienungsstandards auf eine Wahrung der Funktion des ÖPNV als Daseinsfürsorge geachtet werden (vgl. Eichmann et al. 2005, S. 11).

4.4. Relative Kennzahlen

Zur Analyse des Bestandsnetzes ist es zielführend, Verkehrsrelationen nach verschiedenen Kennzahlen zu vergleichen. Diese Kennzahlen sind dabei stets so zu normieren, dass ein Vergleich überhaupt möglich ist. In Anlehnung an Schürmann sind diese:

- Verhältnis Gesamtverkehr zu Modal Split
- Verhältnis Gesamtnachfrage zu Modal Split
- Verhältnis Angebotsdichte zu Modal Split
- Verhältnis Verkehrsmittel (U-Bahn/S-Bahn/Straßenbahn etc.) zu Modal Split
- Verhältnis Gesamtnachfrage zur mittleren Umsteigehäufigkeit
- Verhältnis Einwohner, Arbeits- und Ausbildungsplätze zu Modal Split
- Verhältnis Umsteigehäufigkeit zu Modal Split

(Vgl. Schürmann 2004b, S. 42f., PTV AG 2004, S. 21f.)

In diesen Kennzahlen ist gut sichtbar, auf welche Faktoren eines ÖPNV-Angebotes die Nutzer wie reagieren und wo daher der Hebel zur Erschließung neuer Nachfragepotenziale angesetzt werden kann. Doch auch ohne die Auswirkungen auf den Modal Split, also mit ‚statischer Nachfrage‘, können diese Kennzahlen, ohne Bezug auf den Modal Split, für einen Variantenvergleich herangezogen werden, um die Auswirkungen der Maßnahmen auf die einzelnen Relationen bewerten zu können.

Im Kapitel 7.7.1 wird aus diesen Kriterien ein Bewertungskatalog für die Analyse von Liniennetzoptimierungen erstellt.

Teil II.
Empirie

5. Inhalt der Untersuchung

Das Thema nachfrageorientierter Liniennetzoptimierungen wurde in der Vergangenheit erst sehr selten angewandt. Im Gegensatz zur Taktversatzoptimierung, welche immer häufiger Anwendungen findet, ist eine Aufzählung tatsächlich durchgeführter Liniennetzoptimierungen auf eine recht überschaubare Menge an Beispielen beschränkt. Im Folgenden sollen daher jene Städte bzw. Kommunen vorgestellt werden, in welchen eine nachfrageorientierte Liniennetzoptimierung durchgeführt oder zumindest vorgeschlagen wurde.

Wie im Kapitel 2.1 beschrieben, besteht neben der großen Zahl an Zielkonflikten und der noch viel größeren Zahl von Möglichkeiten der Liniennetzgestaltung auch das Problem, dass bestehende, bewährte Nutzungsmuster nur schwer aufgebrochen werden können und potenziell zu Unzufriedenheit und eventuell auch Verlust bestehender Kunden führen kann.

Um einen guten Überblick über die verwendeten Verfahren, die Randbedingungen, die Umsetzung und die Erfahrungen zu erhalten, wurden mit Verantwortlichen europäischer Verkehrsunternehmen, die bereits Liniennetzoptimierungen durchgeführt haben, Interviews geführt.

5.1. Untersuchungsmethode

Die Befragung einiger weniger Verantwortlicher erfordert qualitative Forschungsmethoden, also solche, die nicht anhand des Verhaltens größerer Gruppen Ergebnisse erhalten, sondern einzelne Aussagen in Zusammenhang stellen. Um möglichst detaillierte und umfangreiche Antworten zu erhalten, wurde ein Interviewleitfaden erstellt, anhand dessen die Interviews durchgeführt wurden. Die darin formulierten Fragen spannen dabei den Rahmen des Interviews auf, welches als Gespräch verläuft. Zusätzlich wurde zur Kategorisierung der Unternehmen ein Fragebogen verwendet, welcher auf dem VÖV-Fragebogen aus dem Jahr 1986 basiert (vgl. Siegloch et al. 1992, S. 13) und Angaben zum Liniennetz, zur Betriebsstatistik und zu Variationen im Liniennetz enthält.

5.2. Instrument

Für die Erforschung der bereits durchgeführten Liniennetzoptimierungen wurden durch eine Clusterung (siehe Abbildung 5.1) möglicher Fragen folgende Dimensionen (übergeordnete Leitfragen) festgelegt:

Grundlagen Randbedingungen, Datengrundlagen und Ziele der Optimierung

5. Inhalt der Untersuchung

Methoden Vorgehensweise, Zwischenergebnisse, Abläufe und Arbeitsaufteilung

Auswirkungen Quantitative und qualitative Auswirkungen, Erkenntnisse und Begleiteffekte

Auf Basis dieser Dimensionen wurden die Unterfragen kategorisiert, sodass sich schließlich zwölf Fragen für den Leitfaden ergaben. Es wurde dabei darauf geachtet, dass die Fragen einerseits genügend Detaillierungsgrad aufwiesen, um nicht nur oberflächliche Antworten zu erhalten und andererseits so offen wie möglich sein, um keine Antworten vorzugeben.

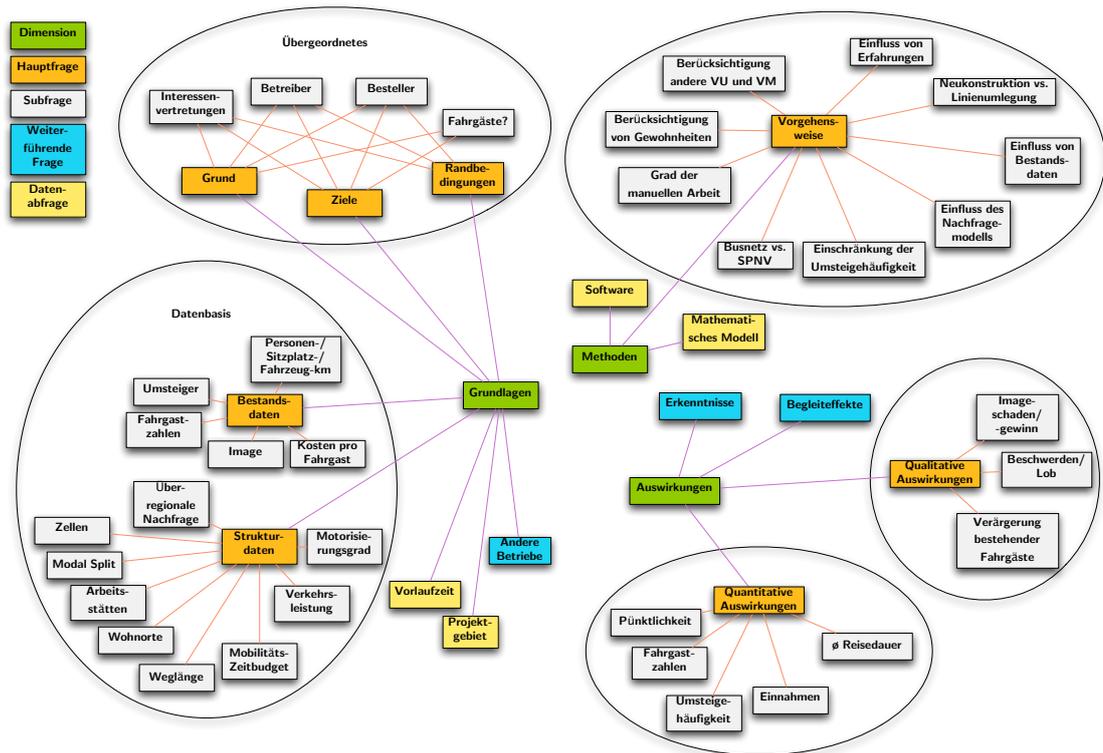


Abbildung 5.1.: Clusterung der Fragen des Leitfadens

Eigene Darstellung

5.3. Stichprobe

Insgesamt nahmen zwölf Personen an den Interviews teil, die aus sechs Städten kommen. Die Gruppe setzt sich zusammen aus:

Pierre Berquin, dem Leiter der Planungsabteilung der städtischen Verkehrsbetriebe (STIB/MVIB) in Brüssel

Rudi Tegenbos, dem Geschäftsführer des Belgischen Verkehrsplanungsbüros Tritel

Andreas Friedhoff und

Lars Hirschfeld, den Leitern des Bereichs Verkehrsplanung der Dortmunder Stadtwerke

Petra Strauß und

Rimbert Schürmann, leitenden Mitarbeitern der Abteilung ÖPNV-Planung des Karlsruher Verkehrsoptimierungsunternehmens PTV

Robert Maier, dem Leiter der Verkehrsplanung der Innsbrucker Verkehrsbetriebe

Friedrich Rauch, Geschäftsführer des Innsbrucker Planungsbüros BVR

Markus Dörfler, zuständig für die Verkehrsmodellierung im Innsbrucker Planungsbüro BVR

Brigitte Gemmer, der Leiterin der Angebotsplanung der Münchner Verkehrsgesellschaft

Thomas Krauß, zuständig für die Angebotskonzeption Autobus bei der MVG

Jörg Gerhard, dem stellvertretenden Betriebsleiter und Leiter der Planung lokaler Nahverkehrsaufgaben bei der Wiesbadener Stadtwerke (ESWE) Verkehr

5.4. Durchführung

Die Vorbereitungen für die Durchführung der Interviews sollte ursprünglich einen Pretest (Probe-Interviews) enthalten, um auf Probleme im Leitfaden aufmerksam zu werden. Da sich jedoch relativ kurzfristig die Möglichkeit ergab, nach Brüssel zu fahren und damit gleich die erste Kontaktperson zu befragen, musste auf einen Pretest verzichtet werden. Nach Durchführung der ersten Interviews zeigten sich jedoch keine Probleme oder Verständnisschwierigkeiten.

Das erste Interview fand am 16. Februar 2010 in Brüssel mit Pierre Berquin statt, das zweite am 18. Februar 2010 mit Rudi Tegenbos ebenfalls in Brüssel. Das erste Interview wurde auf Französisch geführt, das zweite auf Englisch.

Die weiteren Interviews fanden im Zuge einer Forschungsreise zwischen 20. und 30. April 2010 statt – am 20. April in München mit Brigitte Gemmer und Thomas Krauß, am 26. April in Wiesbaden mit Jörg Gerhard, am 29. April mit Petra Strauß und Rimbert Schürmann in Karlsruhe und am 30. April mit Andreas Friedhoff und Lars Hirschfeld in Dortmund.

Zuletzt fanden zwei telefonische Interviews statt, nämlich am 20. September mit Robert Maier, am 21. und 22. September mit Friedrich Rauch und am 22. September mit Markus Dörfler.

Allen Befragten wurde im Vorfeld der Leitfaden (englisch oder deutsch) zugesandt. Die ersten beiden Interviews wurden aufgenommen, bei allen anderen händisch mitnotiert.

5.5. Probleme

Im Wesentlichen verliefen die Interviews ohne Probleme, der Leitfaden bereitete keine Verständnisprobleme. Auf fachlicher Seite hingegen stellte sich das Problem, dass die Anwendung von Optimierungsalgorithmen praktisch überhaupt nicht verbreitet ist und alle umgesetzten Optimierungsbeispiele intuitiv geplant wurden. Der Leitfaden war daher zu sehr auf Algorithmen ausgelegt und ließ die für eine Planung notwendigen Grundannahmen zu sehr außer Acht, weshalb die diesbezüglichen Fragen während des Interviews zusätzlich formuliert werden mussten. Das Interview mit Rudi Tegenbos wurde nicht ausgewertet, da sich während des Gespräches herausstellte, dass sein Büro zwar Liniennetzoptimierungen durchführt, er selbst jedoch keine operativen Funktionen darin erfüllt.

5.6. Auswertung

Die Auswertung der Interviews erfolgte auf Basis des Leitfadens und der darin gestellten Fragen sowie aufgrund zusätzlich genannter Fakten. Die so gewonnenen Erkenntnisse mündeten wiederum in einen beschreibenden Text. Zuletzt wurden die daraus zu ziehenden Schlüsse zu einem Fazit mit Kernaussagen zusammengefasst.

6. Umgesetzte Liniennetzoptimierungen

Um die Städte einordnen zu können, werden sie jeweils in einem Steckbrief vorgestellt, wobei insbesondere die Raumstruktur, die Netztopologie und die Mobilitätskultur interessant sind. Alle im Steckbrief angegebenen Zahlen beziehen sich auf das Jahr 2009 und entstammen dem Informationsportal ‚Meine Stadt‘, sofern nicht anders angegeben (Gellweiler 2010).

Der Steckbrief enthält zudem einige Parameter zur Charakterisierung einer Stadt, die eine grobe Beurteilung der regionalen Gegebenheiten erlauben.

Raumstruktur Dieser Eintrag beschreibt, in welches Umfeld die betrachtete Stadt eingebunden ist. Es ist von großer Bedeutung, ob die Umgebung eher ländlich geprägt ist oder die Stadt vielmehr Teil eines polyzentrischen Ballungsraumes ist. Dies wirkt sich insbesondere darauf aus, ob die überregionalen Verbindungen eher auf Einpendler ausgerichtet sind oder das Rückgrat des innerstädtischen Verkehrs darstellen. In dieser Kategorie wird demnach auf die umliegende Siedlungsstruktur, die näheren Ballungsräume und die Dichte bzw. den Grad der Zersiedlung der dazwischen liegenden Flächen eingegangen.

Netztopologie Bei der Klassifizierung der Netztopologie wurde versucht, möglichst nahe an jener von Siegloch et al. (siehe dazu Kapitel 2.3.2) zu bleiben. Hierbei wird auch auf vorhandene Hierarchiestufen (siehe dazu Kapitel 2.3.1) eingegangen. In Summe wird also eine generelle Aussage versucht, die den topologischen und hierarchischen Aufbau ohne die Berücksichtigung vereinzelter Abweichungen charakterisiert.

Intervalle In dieser Kategorie soll zum einen eine Aussage über die generelle Häufigkeit von Fahrten im Liniennetz gemacht werden. Zum anderen sollen die Intervalle, die im Liniennetz soweit charakterisiert werden, soweit sie systematisch geplant sind; widrigenfalls wird die Abwesenheit einer einheitlichen Intervallpolitik angeführt.

Netzdynamik Dieser Eintrag beschreibt, wie häufig und wie umfangreich sich in den letzten Jahren Änderungen im Liniennetz ergaben. Dabei werden grundlegende Änderungen der Netzstruktur stärker bewertet als die Verlängerung von Linien zwecks Neuerschließung.

Mobilitätskultur Hier wird beschrieben, inwieweit die örtliche Bevölkerung den öffentlichen Verkehr überhaupt in Anspruch nimmt; dabei geht es einerseits um den Modal Split und andererseits auch um dessen Veränderungen über die Zeit.

6. Umgesetzte Liniennetzoptimierungen

6.1. Brüssel, Belgien

- Einwohnerzahl:** 1.048.491 im Jahr 2008 (Deboosere et al. 2009, S. 1)
- Stadtfläche:** 161,4 km²(Deboosere et al. 2009, S. 1)
- Bevölkerungsdichte:** 6.497 EW/km²
- Raumstruktur:** Nachfragearmer Grün- und Industriegürtel mit rund 30 km Ausdehnung rund um Brüssel, dahinter gut strukturierte Unterzentren, Gent und Antwerpen rund 60 km entfernt
- Netztopologie:** Mehrstufiges Netz aus Metro (eine ‚unechte‘ Ringlinie mit radialem Ast, eine Durchmesserlinie mit Verzweigung am Ostende), gut ausgebauter Straßenbahn (Nord-Süd-Achse durch Prémétro-Tunnel und auf eigenem Gleiskörper) sowie Ergänzungslinien aus Straßenbahn- und Buslinien; wenig eindeutige Zuordnung zu Radial- oder Tangentiallinien
- Intervalle:** Métro und Prémétro alle 3/5/10 Minuten (HVZ/NVZ/SVZ), Hauptlinien alle 6/10/20 Minuten, Nebenlinien umlauforientierte Intervalle in der Größenordnung 12/20/20 Minuten; starke Linienbündelung
- Netzdynamik:** Hoch (zwischen 2005 und 2009 alle sechs Monate eine Liniennetzänderung)
- Mobilitätskultur:** 43 % Modal Split im ÖPNV, zwischen 1998 und 2010 80 % Steigerung der Fahrgastzahlen¹
- Gründe für die Auswahl:** Große Straßenbahn-Liniennetzreform zwischen 2005 und 2009



Abbildung 6.1.: Neue Straßenbahnwagen am Südenende des Prémétrotunnels in Brüssel

¹Aussage von Pierre Berquin am 16. Februar 2010.

6.1.1. Ausgangslage

Das Liniennetz der belgischen Hauptstadt² ist seit jeher durch eine hohe Netzdichte geprägt. Straßenbahn- und Buslinien übernahmen seit der Eröffnung der Métro 1976 gemeinsam die Aufgabe des Ergänzungsnetzes ohne wesentliche hierarchische Abstufung zwischen den beiden Verkehrssystemen. Die Métro ging aus dem Prémétronetz hervor, welches in den 60er- und 70er-Jahren des 20. Jahrhunderts durch Untertunnelung starker Straßenbahnäste entstand. Lediglich zwei Strecken wurden bis heute nicht zu vollwertigen Métrolinien umgebaut: Der Tunnel zwischen Nord- und Südbahnhof und ein Stück der *Grande Ceinture*, des Außengürtels. Mit dem *Plan Tram*, der Liniennetzreform zwischen 2005 und 2009, wurde endgültig beschlossen, die Strecken weiterhin für die Straßenbahn zu verwenden. Diese beiden Strecken sind auch die einzigen, auf denen die Straßenbahn stets (auch vor der Netzreform) eine höherrangige Funktion einnahm, sodass auf der Nord-Süd-Strecke zuletzt fünf Straßenbahnlinien verkehrten.

Außerhalb dieser Prémérostrecken verfügen weder Straßenbahn- noch Buslinien über eigene Gleiskörper/Fahrstreifen im extrem stauträchtigen Innenstadtbereich, sodass vor der Reform die stark streuenden Fahrzeiten auf den Außenästen einerseits die Vorteile des Straßenbahntunnels zunichte machten und andererseits zu Kapazitätsproblemen durch Pulkbildung im Tunnel führten. Weiters beschränkte sich die Beschaffungspolitik der Verkehrsbetriebe in der Vergangenheit stets auf sehr kleine Einheiten, da insbesondere vor der massiven Zunahme der Fahrgastzahlen eine Fahrplanstrategie mit hoher Frequenz, aber kleinen Einheiten verfolgt wurde. Diese drei Faktoren (Stau, Linienbündelung und kleine Einheiten) überlagerten sich und verstärkten einander, sodass die Straßenbahn – mit Ausnahme zweier Schnellstraßenbahnlinien in Trabantsiedlungen – in Summe weder durch Kapazität, noch durch Reisegeschwindigkeit oder Regelmäßigkeit dem Autobus überlegen war.

6.1.2. Vorgeschichte

Als im Jahr 2000 absehbar war, dass neue Fahrzeuge beschafft werden müssen, wurde der Ankauf von 40 Straßenbahnen hoher Kapazität beschlossen. Da die Region Brüssel-Hauptstadt (*Bruzelles-Capitale/Brussels Hoofstedelijk Gewest*), die für die Finanzierung der Infrastruktur und der Fahrzeuge zuständig ist, in der Vergangenheit nur die notwendigsten Investitionen in den Fahrzeugpark getätigt hatte, wurde seitens der STIB beschlossen, eine Liniennetzreform zu erarbeiten, die – basierend auf einem möglichst konzentrierten Einsatz jener 40 Fahrzeuge – einen regelmäßigen Betrieb auf der Nord-Süd-Préméto unter Abtrennung der verspätungsanfälligen Außenäste vorsieht.

Aus der strikten Beschränkung auf genannte 40 Fahrzeuge entstand letztendlich der Plan, zwei Straßenbahnlinien typenrein mit neuen Fahrzeugen zu betreiben, wobei eine davon ausschließlich auf der Nord-Süd-Prémérostrecke zwischen Nordbahnhof und Place Churchill geführt wird. Letztere sollte dabei in denselben Intervallen wie die Vollmétro verkehren.

²Die folgenden Ausführungen basieren, sofern nicht anders vermerkt, auf dem Interview mit Pierre Berquin am 16. Februar 2010 in Brüssel.

6. Umgesetzte Liniennetzoptimierungen

Die verbleibenden Außenäste sollten möglichst gut an das entstehende Hauptnetz angebunden werden, was im Norden durch den vollkommenen Neubau der Haltestelle Rogier erfolgen sollte: eine neue Gleisebene führt zwei Stumpfgleise direkt in das Verteilergeschoß zwischen Métro und Prémétro und sorgt so für kurze Fußwege. Dabei verkehren zwei der drei von Norden in Rogier endenden Straßenbahnlinien auf einem Teilstück der Prémétro parallel zu den Hauptlinien, um nicht eine Haltestelle vor dem wichtigen Umsteigepunkt enden zu müssen. Die dritte Linie, die als Tangentiallinie nur untergeordnete Umsteigewichtigkeit aufwies, wurde aus Kapazitätsgründen am Nordbahnhof vor Einfahrt in die Prémétrostrecke gekappt. Im Süden hingegen war eine bauliche Lösung dieser Art nicht möglich, weshalb die Straßenbahnlinien bis zum Südbahnhof geführt und dort untereinander neu verknüpft werden sollten, wobei dabei auf möglichst geradlinige Tangentialverbindungen geachtet wurde³.

Das vorgeschlagene Netz wurde aufgrund zu radikaler Änderungen im Bestandsnetz seitens der Region Brüssel-Hauptstadt abgelehnt. Iterativ wurde das neue Netz schlussendlich zu jenem, welches 2005 beschlossen und zwischen 2005 und 2009 umgesetzt wurde.

6.1.3. Liniennetzreform ‚Plan Tram‘

Der größte Mangel der ersten vorgeschlagenen Reform war die radikale Zugangsweise, den mit Abstand stärksten belasteten Straßenbahnabschnitt vollkommen von allen Außenästen zu trennen. Unter Beibehaltung der Prämisse, die Straßenbahnstrecken ausschließlich auf eigenem Gleiskörper zu betreiben, wurden daher jene Äste für eine Weiterführung ausgewählt, die einen ebensolchen aufweisen. Zusätzlich wurde entlang der Senne eine Neubaustrecke errichtet, um eine schnelle Verbindung in den Nordwesten zu erhalten. Daraus ergaben sich – über mehrere Stufen – die nunmehrigen zwei Linien, die jeweils im doppelten Métro-Intervall verkehren und sich am Abschnitt zwischen Nordbahnhof und dem südlichen Ende des Prémétrotunnels in Vanderkindere überlappen. Den Kommunen (die Region Brüssel-Hauptstadt besteht aus 18 vollkommen eigenständigen Gemeinden) wurde in Aussicht gestellt, bei weiteren durchgehend auf eigenem Gleiskörper befahrbaren Außenästen auch diese wieder durch den Straßenbahntunnel zu führen, um auf diese einen Druck zur Umsetzung von Beschleunigungsprojekten auszuüben. Ein weiterer Kompromiss wurde im Abendverkehr eingegangen: in diesem Zeitraum verkehren, annähernd wie vor der Reform, viele Außenäste über die Prémétrostrecke und stellen somit Direktverbindungen mit der Innenstadt her, was allerdings ein vollkommen unterschiedliches Abend-Liniennetz zur Folge hat.

Gleichzeitig mit dem umfangreichen Straßenbahn-Reformprojekt wurde die vorerst letzte Ausbaustufe der Métro mit dem Schließen des inneren Ringes abgeschlossen und die Nummerierung der aufgewerteten Straßenbahnlinien in jene der neu geschaffenen Métrolinien integriert.

Flankierend dazu wurden noch kleinere Änderungen im Busnetz durchgeführt, welche jedoch ausschließlich Verbesserungen der Pünktlichkeit zum Ziel hatten. Ferner fielen in die

³E-Mail von Pierre Berquin am 21. Mai 2010.

Periode der Neustrukturierung zwei Straßenbahnverlängerungen, die jedoch unabhängig vom *Plan Tram* geplant wurden.

6.1.4. Ergebnisse

Grundsätzlich ist es relativ schwer, im Zusammenhang mit dem *Plan Tram* von exakten Werten der Fahrgaststeigerung zu sprechen, da erstens der extreme Fahrgastzuwachs von 80 % zum Teil in die relevante Zeit fällt und zweitens auch das Métronetz gleichzeitig umgestellt wurde. Dennoch lassen sich folgende Aussagen tätigen:

1. Die Inanspruchnahme der Straßenbahnen im Prémétrotunnel hat deutlich zugenommen. Dies äußert sich darin, dass trotz gesteigerten Platzangebotes im Prémétrotunnel⁴ die Kapazitätsprobleme bestehen blieben.
2. Obwohl die nunmehrigen Restlinien auf den Außenästen in der Öffentlichkeit sehr negativ wahrgenommen wurden, gab es keinen Einbruch im Fahrgastzuwachs zwischen 1998 und 2010. Eine Erklärungsmöglichkeit dafür ist die – aufgrund der geringeren Linienlänge – gestiegene Zuverlässigkeit zusammen mit dem Bemühen der STIB, die Umsteigepunkte zu attraktivieren.

6.1.5. Fazit

Trotz der sehr großen Umwälzungen im Brüsseler Straßenbahn- und Métronetz erfolgte die Umstellung des Liniennetzes nicht auf Basis der Nachfrage, sondern in erster Linie auf Basis der Möglichkeiten, die Verlässlichkeit des Betriebes zu steigern.

Das Ziel höherer Zuverlässigkeit kann sicherlich als gelungen betrachtet werden und hatte den Nebeneffekt, dass sich die Beliebtheit des öffentlichen Verkehrs in Brüssel seitdem in Umfragen deutlich verbessert hat.

Aus Sicht einer nachfrageorientierten Optimierung ist dieses Beispiel jedoch nicht weiter verfolgenswert, da eine solche – mit Ausnahme der erfahrungsgestützten Reorganisation der Außenäste – schlichtweg nicht erfolgt ist.

Für die weitere Planung interessant ist jedoch die Feststellung, dass in Brüssel kürzere, weniger stauanfällige Linien verbunden mit gut ausgestalteten Umsteigeknoten eine größere Inanspruchnahme aufweisen als lange Linien, die zwar umsteigefreie Verbindungen ermöglichen, jedoch geringere Zuverlässigkeit aufweisen. Auch Königshofer stellte für Graz fest, dass der Mehrzahl der Fahrgäste und hierbei insbesondere der Pendler Umsteigeverbindungen nicht per se als unattraktiv beurteilen, sofern die Umsteigepunkte übersichtlich ausgestaltet sind (vgl. Königshofer 2009, S. 83).

⁴Vor 2005 verkehrten zu Spitzenzeiten fünf Linien mit insgesamt 30 Fahrten pro Stunde zu je 100 bis 150 Plätzen auf der Prémétrostrecke, nunmehr gibt es zwei Linien mit insgesamt 20 Fahrten pro Stunde zu je 180 bis 260 Plätzen, das ergibt im Mittel ein zusätzliches Angebot von 17 % zur Spitzenstunde, welches zudem deutlich regelmäßiger verteilt ist.

6.2. Dortmund, Deutschland

Einwohnerzahl:	584.412
Stadtfläche:	280,41 km ²
Bevölkerungsdichte:	2084 EW/km ²
Raumstruktur:	Oberzentrum des Ruhrgebietes, Bochum (rund 400.000 Einwohner) und Hagen (rund 200.000 Einwohner) unmittelbar angrenzend
Netztopologie:	Stadtbahn-Achsenkreuz mit aufgelöstem Knoten in der Innenstadt und relativ wenig Vermaschung; stark ausgeprägte Tangentialbuslinien
Intervalle:	Grundintervall 10, Außen-Buslinien 20 Minuten
Netzdynamik:	Hoch (Laufender Stadtbahnausbau mit Anpassungen im Busnetz)
Mobilitätskultur:	Modal Split von 20 % im ÖPNV im Jahr 1998 (vgl. Meißner et al. 2004, S. 18)
Gründe für die Auswahl:	Liniennetzoptimierung 2000

6.2.1. Ausgangslage

Für die Dortmunder Stadtwerke (DSW)⁵ lag der Auslöser einer Evaluierung und Neukonzeption des Liniennetzes weniger im dringenden Bedarf nach wirtschaftlicherer Betriebsführung, sondern vielmehr im Wissen, dass das zum damaligen Zeitpunkt bestehende Liniennetz keine Linienhierarchie, unsystematische Bedienungsqualitäten und ein uneinheitliches Liniennummernschema aufwies. Aus diesem Grund wurde im Jahre 1998 die erste Studie zur Evaluierung durchgeführt. Damals wie auch heute stand in Dortmund keine gute Datenbasis über Nachfragepotenziale zur Verfügung, sondern lediglich Querschnittszählungen sowie Fahrgastbefragungen im Bestandsnetz.

6.2.2. Neukonzeption

Auf dieser Basis wurde das Liniennetz in der Studie grundsätzlich neu erarbeitet. Die wesentliche Grundsatzentscheidung betraf auch hier eine Hierarchisierung der Buslinien, wobei höherwertige Buslinien für Tangentialachsen und niedrigerwertige für die Feinerschließung vorgesehen waren. Diese Differenzierung führte zu acht Hauptbuslinien, welche nunmehr durchgehend im 10-Minuten-Takt verkehren und über ein umfangreiches Schwachlastangebot verfügen. Weitere Neuerungen betrafen das Angebot in der Innenstadt, die zuvor grundsätzlich nicht von Buslinien angefahren wurde. Dies inkludierte unter anderem erstmals zwei Buslinien zum Hauptbahnhof. Die Linien des Ergänzungsnetzes wurden ferner um Midibuslinien erweitert, welche schwer befahrbare Straßenzüge neu erschließen sollten.

⁵Die folgenden Ausführungen basieren, sofern nicht anders vermerkt, auf dem Interview mit Lars Hirschfeld und Andreas Friedhoff am 30. April 2010 in Dortmund.



Abbildung 6.2.: Mit der Liniennetzreform 2000 wurden erstmals wieder Buslinien zum Dortmunder Hauptbahnhof geführt.

6.2.3. Umsetzung

Ging die ursprüngliche Studie noch von einer aufkommensneutralen Umgestaltung aus, erweiterten die DSW die ursprünglichen Planungen noch deutlich, sodass – nach Ende der politischen Debatte – 1999 ein an Nutzkilometern um 12 % erweitertes Angebot in Betrieb genommen wurde⁶. Letztendlich musste nur in Teilbereichen nachgebessert werden, insbesondere die Umlaufplanung erwies sich als zu ehrgeizig für die Praxis.

6.2.4. Auswirkungen

Die Fahrgastzahlen im Autobusnetz stiegen seit der Umsetzung der Liniennetzreform (Zeitraum 1999 bis 2009) um insgesamt 40 %, insbesondere im Gelegenheitsverkehr sind seitdem stetige Zuwächse zu verzeichnen. Dieser Zuwachs ist jedoch nicht alleine auf die Liniennetzreform zurückzuführen, sondern auch auf eine Kombination mit neuen Tarifangeboten (Netzkarten für Schüler und Studierende sowie Sozialtarife) und dem laufenden Ausbau der Stadtbahn-Außenäste.

6.2.5. Fazit

Durch die deutliche Angebotsausweitung fällt bei der Betrachtung des Beispiels Dortmund natürlich auch die Übertragbarkeit auf andere Anwendungen schwer, welche zumeist ein eng geschnürtes finanzielles Korsett als Rahmenbedingung haben. Die Methode, das Liniennetz zu differenzieren und damit eine neue Hierarchiestufe einzuführen, wurde jedoch auch in Dortmund erfolgreich angewandt.

⁶Die Dortmunder Stadtwerke tragen sich durch Querfinanzierung selbst. Dies bedeutet, dass Ausweitungen und auch Einschränkungen des Angebotes zwar an den Nahverkehrsplan der Stadt Dortmund gebunden sind, die Letztentscheidung jedoch bei den DSW selbst liegt und damit auch die Verantwortung für ein derart erweitertes Angebot.

6.3. Dubai, Vereinigte Arabische Emirate

Einwohnerzahl:	Ca. 1.700.000
Stadtfläche:	K. A. ⁷
Bevölkerungsdichte:	Gesamtes Emirat: 408 EW/km ²
Raumstruktur:	Relativ dicht besiedelter Stadtkern und sehr weitläufig ausstrahlende Vororte dünner Besiedlung
Netztopologie:	Eine Metrolinie entlang der Küste, Unstrukturisiertes Netz aus Buslinien verschiedener Betreiber, keine Busspuren
Intervalle:	Metro: 6 bis 12 Minuten, Bus: völlig unterschiedlich zwischen wenigen Minuten und wenigen Abfahrten pro Tag
Netzdynamik:	Hoch (laufend Modifikationen im unstrukturierten Busnetz)
Mobilitätskultur:	mIV-Anteil sehr hoch, Straßennetz trotz hohen Ausbaustandes überlastet; Modal Split von 6 % für dem ÖPNV im Jahr 2008 (Flausch und Rat 2010)
Gründe für die Auswahl:	Völlige Neukonstruktion des Busliniennetzes in Planung
Ansprechpartner:	Petra Strauß und Rimbart Schürmann, PTV AG

6.3.1. Planungsauftrag

Dubai⁸ erscheint in den hier genannten Netzen sicherlich eher als Exot und ist mit dem Anwendungsgebiet in Graz weder in seiner Ausdehnung, noch seiner Netzqualität, ganz zu schweigen von der Mobilitätskultur zu vergleichen. Dennoch sei hier exemplarisch ein Planungsgebiet genannt, in welchem ein Liniennetz vollkommen neu erstellt wurde – im Rahmen dieser Arbeit ist diese Situation sicherlich einmalig.

Das Emirat Dubai plant, ein Busliniensystem aufzubauen, welches den Modal Split maßgeblich zur ÖPNV-Nutzung verschiebt. Die einzige Einschränkung der Planung betraf die Berücksichtigung der im Bau bzw. in Planung befindlichen U-Bahn-Linien. Seitens des Planungsbüros wurde daher in einem ersten Schritt erhoben, welcher Prozentsatz der Bevölkerung von der ersten Stufe der U-Bahn-Planungen überhaupt betroffen wäre. Das Ergebnis lag bei lediglich fünf Prozent und gab daher den Anstoß, statt reiner Planung von Zubringerlinien weitere starke Achsen in Form von Schnellbuslinien durch die Stadt zu legen.

6.3.2. Nachfrageanalyse

In einem ersten Schritt wurde daher zunächst ein Maximalliniennetz erstellt, in welchem eine verkehrssystemfeine Umlegung über die erste der Metrolinien sowie über alle vom

⁷Keine Angaben über die Stadtfläche selbst, sondern nur über das gesamte Emirat.

⁸Die folgenden Ausführungen basieren, sofern nicht anders vermerkt, auf einem Interview mit Petra Strauß und Rimbart Schürmann am 29. April 2010 in Karlsruhe.

Bus befahrenen Straßen gerechnet wurde, wobei in einer Sensitivitätsanalyse die durchschnittliche Reisegeschwindigkeit der Buslinien zwischen 15 und 35 km/h angenommen wurde. Aus diesen Überlegungen ergaben sich die Hauptachsen für neue Buslinien. Die Vorstellungen der Entscheidungsträger sahen vor, die Schnellbuslinien parallel zur U-Bahn (davon eine direkt an der Küste) zu legen. Die Vorgabe, die U-Bahn-Auslastung nicht zu kannibalisieren, führte entgegen dieser Vorstellung jedoch zu in erster Linie quer zur U-Bahn verlaufenden Buslinien. Diese Hauptachsen bildeten im weiteren Verfahren die Ausgangsbasis für die Linienbildung.

6.3.3. Netzgenerierung

Zunächst wurden bei der Gestaltung des Busliniennetzes entlang der stärksten dieser Achsen Schnellbuslinien eingerichtet, welche nur wenige zentral gelegene Haltestellen bedienen und an die Stationen der U-Bahn bzw. an wichtige Punkte der Innenstadt angebunden sind.

Als nächster Schritt wurde das Stadtgebiet in verhaltenshomogene Gebiete aufgeteilt, in welchen in Folge die Feinverteilung durch Quartierbuslinien erfolgen sollte. Auch hier erfolgte die Anbindung und auch die jeweilige Linienführung in Richtung der stärksten Nachfrage.

Zuletzt wurde die Innenstadt unabhängig von der Nachfrage mit Linien versehen, da bei der derart hohen Einwohnerdichte in diesem Bereich kaum mehr von sauber erhobenen Nachfragedaten ausgegangen werden konnte. Die Innenstadt wurde daher so von Buslinien durchzogen, dass letzten Endes alle die Innenstadt berührenden Metro- und Schnellbusstationen sowie der Fährhafen untereinander verbunden waren.

6.3.4. Fazit

Gewiss spielte bei der Gestaltung des Netzes in Dubai die Wirtschaftlichkeit der Linienführungen nur eine untergeordnete Rolle; das Liniennetz selbst berücksichtigt ebenfalls bereits die Auswirkungen des weiter anhaltenden extremen Wachstums der Stadt. Dennoch ist der Ansatz der schrittweisen Gestaltung für diese Arbeit von hohem Interesse.

6.4. Innsbruck, Österreich

Einwohnerzahl:	119.200
Stadtfläche:	104 km ²
Bevölkerungsdichte:	1124 EW/km ²
Raumstruktur:	Viele größere Orte das Inntal entlang
Netztopologie:	Maschiges Liniennetz aus Straßenbahn- und Buslinien, viele Linienäste
Intervalle:	Grundintervall der Straßenbahn 7,5 Minuten, zwei Hauptbuslinien alle 5 bzw. 7,5 Minuten, restliches Netz Grundintervall 15 Minuten
Netzdynamik:	Hoch (Neues Obus-System 1988, Mehrere Änderungen im Straßenbahnnetz bis 1995, Bus-Liniennetzreform 2001, Einstellung des Obusbetriebes 2007)
Mobilitätskultur:	16 % Modal Split des ÖV im Jahr 2003(vgl. Amt der Tiroler Landesregierung 2009)
Gründe für die Auswahl:	Liniennetzreform im Busliniennetz 2001

6.4.1. Ausgangslage

Die Stadt Innsbruck und die Innsbrucker Verkehrsbetriebe (IVB)⁹ starteten 1998 ein umfassendes Projekt zur Liniennetzoptimierung im Autobusbereich von Innsbruck. Zuvor bestand das Busliniennetz, bis auf die beiden Obuslinien, aus Radiallinien, welche am Hauptbahnhof ihren Ausgangspunkt hatten und nicht durch die Innenstadt durchgebunden waren. Ein Ansatz der Neuordnung war demnach die Durchbindung der Linien, ein zweiter die Untersuchung von Tangentiallinien.

6.4.2. Verkehrsmodell

Für die Analyse des Liniennetzes wurde ein umfangreiches Verkehrsmodell aus Strukturdaten, Umfrageergebnissen und Fahrgastzählungen in der Stadt Innsbruck und dem Bezirk Innsbruck-Land erarbeitet. Dieses Verkehrsmodell enthielt nicht nur die ÖV-, sondern auch IV-Daten, konnte somit also auch Wechselwirkungen zwischen diesen Verkehrsträgern abbilden. Es folgte in der Bewertung der Nachfrage der deutschen standardisierten Bewertung, um eine Vergleichbarkeit mit anderen Untersuchungen zu gewährleisten. Aus dieser Vorgehensweise ergab sich beispielsweise, dass ein Schienenbonus von 10 % des Widerstandes einberechnet wurde. Auch Kostensätze waren im Modell enthalten, um auch die Auswirkungen von Linienenerweiterungen auf die Einnahmenstruktur modellieren zu können. Ferner wurde mit Prognosen gearbeitet, welche durch lineare Fortschreibung des bestehenden Verkehrsaufkommens erstellt wurde.

⁹Die folgenden Ausführungen basieren, sofern nicht anders vermerkt, auf den Telefonaten mit Robert Maier, Friedrich Rauch und Markus Dörfler am 20., 21. und 22. September 2010.

6.4.3. Vorgehensweise

Die Tatsache, dass bis zur Liniennetzreform die meisten Linien am Hauptbahnhof endeten, führte zur ersten Überlegung, diese zu Durchmesserlinien zu verknüpfen. Gleichzeitig wurden alle Äste auf den Nutzen ihrer Linienführung im Einzelnen untersucht sowie die Einrichtung einer Tangentiallinie im Süden der Stadt überprüft. Innsbruck verfügte zum damaligen Zeitpunkt neben den Betriebszweigen Bus und Straßenbahn noch über einen Obusbetrieb, welcher erst 1988 eingeführt worden war¹⁰. Die beiden Linien dieses Zweiges waren zum damaligen Zeitpunkt die einzigen Durchgangslinien, die Linie O bereits damals die mit Abstand stärkst ausgelastete Linie im Innsbrucker Netz. Dennoch wurde auch Linienführung und Durchbindung dieser routengebundenen Betriebsmittel untersucht, ohne das Vorhandensein von Oberleitungen zu berücksichtigen.

Die Routenverknüpfungen in der Innenstadt wurden so ermittelt, dass sich möglichst wenig Umweg beim Erreichen des anderen Astes ergab, wodurch in vielen Fällen der Hauptbahnhof nicht mehr angefahren wurde. Die Verknüpfungen wurden dann aufgrund von Spinnenbelastungen, also einer Darstellung der ausstrahlenden Fahrgastströme einer Linie, erstellt. Während die Ost-West-Durchbindungen eindeutig zuordenbar waren und damit die Äste der Obuslinien unverändert verknüpft wurden, ergaben sich bei den nicht eindeutig in diese Richtung verlaufenden Linien Probleme bei der Zuordnung. Diese uneindeutigen Zuordnungen führten letztendlich unter anderem zum Kompromiss, viele Linien, insbesondere im Osten, in mehrere Äste aufzuspalten (siehe hierzu auch Kapitel 2.3.3).

Im Laufe der Planungen zeichnete sich zudem ab, dass die Stadt Innsbruck durchaus bereit wäre, ein verbessertes Angebot zu finanzieren, weshalb auch zunehmend bedeutende Angebotsverbesserungen (teilweise 15-Minuten- statt Stundentakt) und neue Linienäste ins Auge gefasst wurden, bis ein Zusatzangebot um ungefähr 25 % der Bestandsleistung erreicht war.

Unumstößliche Planungsvorgabe war, alle Linien in der Taktfamilie 2, also alle 7,5 Minuten und seltener, verkehren zu lassen¹¹. Diese Taktgruppe ergab sich aus jener der Straßenbahn, welche alle 7,5 Minuten verkehrt.

6.4.4. Umsetzung

Das Ergebnis der Studie war, dass alle Linien durchgebunden werden konnten, wobei teilweise eine Linie auf zwei andere Linien durchgebunden wurde, womit ein weiterer Grund für die Innsbrucker Linienbildungsphilosophie geschaffen wurde.

Aus den ursprünglich vorgeschlagenen Planungen kamen letztlich etwa 85 % der Vorschläge auch zur Umsetzung, wobei insbesondere die Bildung der neuen Tangentiallinie im Süden, für die sogar eine Brücke und ein Straßendurchstich errichtet wurden, eher misstrauisch beäugt wurde. Die wesentlichen Änderungen des umgesetzten Netzes im Vergleich zur Planung betrafen die noch ausgeprägtere Einführung von Linienverzweigungen,

¹⁰Der Innsbrucker Systementscheid zugunsten der Straßenbahn erfolgte erst nach Umsetzung der Liniennetzreform. Zum damaligen Zeitpunkt war noch nicht geklärt, ob der Betriebszweig Straßenbahn oder der Obusbetrieb zugunsten des jeweils anderen eingestellt werden würde.

¹¹Ausnahme: Linie O alle 5 Minuten aus Kapazitätsgründen.

6. Umgesetzte Liniennetzoptimierungen

welche teils aus angebotspolitischen Gründen (Altersheime etc.) eingeführt wurden, aber nicht durch Nachfrage gerechtfertigt waren, sowie die Ausdünnung einzelner Linienäste aufgrund von Anrainerprotesten gegen eine zu häufige Bedienung.

In Innsbruck wurde sehr viel Wert auf die Beteiligung der Betroffenen gelegt: während des gesamten Planungsprozesses gab es Informationsveranstaltungen mit Bürgerbeteiligung, sodass die meisten Probleme, insbesondere jene bestehender Fahrgäste bei geplanten Linienänderungen, berücksichtigt werden konnten.



Abbildung 6.3.: Die Hauptbuslinie O erhielt mit der Liniennetzreform eine neue Linienführung in der Innenstadt.

6.4.5. Auswirkungen

Die Liniennetzreform kann durchaus als geglückt bezeichnet werden. Die Verknüpfung der Linienäste untereinander führte, zusammen mit der deutlichen Angebotsausweitung, zu deutlichen Fahrgaststeigerungen, sodass mittlerweile eine Reihe von Buslinien mit erheblichen Kapazitätsproblemen zu kämpfen hat. Auch die Erhöhung der Kapazität der Hauptlinie O (von 10 auf 12 Fahrten pro Stunde) war bereits nach kurzer Zeit durch Fahrgastzuwächse wettgemacht. Die mit Abstand beste Inanspruchnahme, insbesondere im Vergleich zu den bescheidenen Prognosen, erzielte jedoch die neue Tangentialbuslinie T: Mit mittlerweile gut 6000 Fahrgästen am Tag müssen etliche Kurse doppelt geführt werden, um ausreichend Kapazität zu bieten, die Linie zählt mittlerweile zu den stärksten Normalbuslinien. Auch wurde, obwohl ursprünglich nicht vorgesehen, mittlerweile auch ein Sonntagsverkehr auf dieser Linie eingerichtet, welcher ebenfalls gut angenommen wird.

Ebenfalls unerwartet war die Inanspruchnahme einer zuvor unbedeutenden Umsteigehaltestelle zwischen der neuen Tangentiallinie T und der Straßenbahnlinie 1: Die Umsteigezahlen erhöhten sich dort so massiv, dass aus Sicherheitsgründen die Haltestellenanlage großzügig erweitert werden musste.

Durch den regelmäßigen Kontakt während der Planungsphase konnten auch Beschwerden minimiert werden, sodass sich auch während der Einführung des neuen Busliniennetzes keine erhöhte Beschwerdezahl ergab.

6.4.6. Neuplanung

Die Entwicklung der Fahrgastzahlen wurde mittlerweile evaluiert, sodass derzeit eine Revision des Busliniennetzes erarbeitet wird. Hierbei soll insbesondere die Auslastung der unterschiedlich belasteten Linienäste durch Neuverknüpfungen harmonisiert sowie einzelne, schwach ausgelastete Linienverzweigungen zugunsten einer dichteren Bedienung des jeweils anderen Abschnittes eingestellt werden. Auch soll insgesamt die Anzahl der Linienverzweigungen auf ein Minimum reduziert werden.

Als Datenbasis für die Neuplanung dient dasselbe Verkehrsmodell wie 1998, welches jedoch fortgeschrieben wurde und auf Basis einer Mobilitätsanalyse in den Jahren 2000 bis 2004 erweitert wurde.

In Innsbruck wird derzeit das Straßenbahnnetz erweitert, unter anderem soll in mehreren Stufen die Hauptbuslinie O auf Straßenbahnbetrieb umgestellt werden. Jedoch nimmt auch die Neuplanung des Busnetzes auf einen eventuellen Straßenbahnbetrieb keine Rücksicht, da der genaue Fortgang der Planungen derzeit unsicher ist und die aktuelle Liniennetzoptimierung bereits kurzfristig umgesetzt werden soll. Auch ist die Stadt Innsbruck zu klein, um etwa ein Zubringerbusnetz mit der Straßenbahn als Rückgrat einzurichten.

6.4.7. Fazit

Innsbruck kann durch die erfolgte Liniennetzreform bereits 2001 auf eine ausreichend lange Erfahrung mit der Durchführung solcher Optimierungen zurückgreifen. Zum damaligen Zeitpunkt war auch der Einsatz eines Verkehrsmodells äußerst fortschrittlich.

Aus Sicht dieser Arbeit sind insbesondere die guten Erfahrungen mit der Durchbindung von Radiallinien und der Einrichtung von Tangentiallinien von Interesse. Die intensive Einbindung der Öffentlichkeit zeigte sich ebenfalls als richtiger Zugang, um die Gefahr der Verärgerung von Bestandsfahrgästen gering zu halten.

Nicht zuletzt zeigen die mittlerweile auftretenden Kapazitätsprobleme, dass die Verfolgung der Nachfrage für die Erstellung eines Liniennetzes ein wesentlicher Erfolgsfaktor ist.

6.5. München, Deutschland

Einwohnerzahl:	1.326.807
Stadtfläche:	310,40 km ²
Bevölkerungsdichte:	4228 EW/km ²
Raumstruktur:	Agglomeration mit starker Konzentration auf die Stadt München, die nächsten Städte (Augsburg, Nürnberg) mindestens 60 km entfernt
Netztopologie:	Vermaschtes U-Bahn-Netz aus drei Hauptmagistralen mit aufgelöstem Zentrums-knoten, radiales S-Bahn-Netz mit von allen Linien befahrener Stammstrecke durch die Innenstadt, Ergänzungsnetz der Straßenbahn bedient dichtere Radial- und Tangentialverbindungen, Metrobuslinien ergänzen das Straßenbahnnetz hauptsächlich auf Tangentiallinien, Stadtbuslinien für die Feinverteilung
Intervalle:	S-Bahn im Stadtbereich, U-Bahn, Straßenbahn und Metrobuslinien alle 10 Minuten, Stadtbuslinien alle 20 Minuten, teilweise auf 10-Minuten-Intervall verdichtet; U-Bahn und S-Bahn sowie zum Teil Straßenbahn durch Linienbündelung auf mehreren Strecken deutlich häufiger
Netzdynamik:	Komplette Neustrukturierung des Busnetzes 2004, davor in erster Linie Umstellung wichtiger Straßenbahnachsen auf U-Bahn mit nur geringer Anpassung des Autobusnetzes
Mobilitätskultur:	32 % Modal Split im ÖPNV (vgl. Beckmann 2006, S. 14), hohes Ansehen des ÖPNV generell
Gründe für die Auswahl:	Neustrukturierung des Autobusnetzes erfolgte auf Basis eines Nachfragemodells

6.5.1. Ausgangslage

Die Stadtwerke München¹² erbringen gemeinsam mit 14 kleineren Verkehrsunternehmen (keine Fremdunternehmen, sondern Kooperationspartner, die selbst Konzessionsinhaber sind) gut 60 % der Verkehrsleistung im Münchner Verkehrsverbund. Als stadt-eigener Betrieb haben sie weitgehende Gestaltungshoheit über das Angebot und sind nur an die definierten Angebotsqualitäten gemäß dem Münchner Nahverkehrsplan gebunden. Anders als in vielen europäischen Städten existiert kein Verkehrsdienstvertrag, sondern die Auflage, mit einem fixen Budget die im Nahverkehrsplan geforderte Leistung zu erbringen und – ebenfalls weitestgehend einzigartig in Europa – den Betrieb (nicht

¹²Die folgenden Ausführungen basieren, sofern nicht anders vermerkt, auf dem Interview mit Brigitte Gemmer und Thomas Krauß am 20. April 2010 in München. Teils überschneiden sich die Angaben mit jenen aus Gemmer und Krauß (2004).

die Erhaltung der Infrastruktur) kostendeckend zu führen. Das Liniennetz in München entstand im Wesentlichen aus dem Straßenbahnnetz, das seit der Jahrhundertwende aufgebaut und seit den 60er-Jahren des 20. Jahrhunderts sukzessive auf U-Bahn umgestellt wurde. Autobuslinien dienten stets nur als Ergänzungsnetz sowie zum Teil als Kompensation für durch den U-Bahn-Bau entfallene Straßenbahnstrecken. So fanden auch Netzänderungen im Busliniennetz stets nur vor dem Hintergrund neu eingerichteter U-Bahn- und S-Bahn-Linien statt und beschränkten sich auf das unmittelbare Umfeld dieser Massenverkehrsmittel.



Abbildung 6.4.: Mit dem Projekt ‚TopBus‘ wurden in München MetroBus-Linien eingeführt.

6.5.2. Vorbereitungen

Der Auslöser für die Planungen an einer Liniennetzreform im Busnetz war letztendlich ein gestiegener Kostendruck, da Kosten für die Erbringung der Busleistung in einem sehr ungünstigen Verhältnis zum Ertrag standen. Die Münchner Verkehrsgesellschaft (MVG) erwirkten als Kostenverantwortliche einen Stadtratsbeschluss, das Busliniennetz unter Aufwendung beachtlicher Planungskapazitäten und mit relativ langer Vorlaufzeit umzuplanen.

Mit 2001 wurde daher eine groß angelegte Datensammlung gestartet, die weit über die üblichen Maße hinaus ging. Neben den ‚klassischen‘ Strukturdaten, Fahrzeitauswertungen, Fahrgastzählungen und -befragungen und Umsteigerdaten wurde die gesamte Beschwerdedatenbank ausgewertet, die Zeitungsberichte seit 1997 auf ÖPNV-Themen durchsucht, massiv die Einbringung von Vorschlägen und Erfahrungen durch das Fahrpersonal gefördert sowie – um insbesondere den politischen Konsens deutlich breiter aufzustellen – von Anfang die Bezirksausschüsse Stadt München sowie die Interessenvertretungen (in diesem Fall ProBahn, Verkehrsclub Deutschland (VCD), Allgemeiner Deutscher Automobil-Club (ADAC) und Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND)) in die Planung miteinbezogen.

6. Umgesetzte Liniennetzoptimierungen

Erwähnenswert ist auch, dass versucht wurde, der ‚Betriebsblindheit‘ auf allen beteiligten Ebenen zu begegnen, indem die Planung in vier ‚Pakete‘ zerteilt und an vier verschiedene Planungsbüros bzw. Arbeitsgruppen vergeben wurde:

- Projektsteuerung
- Implementierung des Verkehrsmodells
- Erarbeitung der Planungsvarianten
- Projektkommunikation

Durch dieses Prinzip der gegenseitigen Abhängigkeit und bis zu einem gewissen Grad Kontrolle wurde weiters eine sehr positive Umgebung gegenseitiger Inspiration und damit eine große Ideenvielfalt geschaffen.

6.5.3. Verkehrsmodell

Das Verkehrsmodell beinhaltete zum Zeitpunkt seiner Anwendung im Projekt ‚Top-Bus‘ lediglich die öffentlichen Verkehrsträger (mittlerweile wurde das Modell auf ein umfassendes Gesamtverkehrsmodell für die Stadt München erweitert), doch wurden die relevanten IV-Daten seitens der Stadt München bereitgestellt und damit berücksichtigt. In das Modell flossen alle oben genannten Daten ein, wobei die Strukturdaten bis zu einer Feinheit von Friedhofplätzen und Krankenhausbetten vorlagen. Auf Basis dieses Verkehrsmodells wurde der Nullfall errechnet und aufgrund der bekannten Daten von Modal Split, Inanspruchnahme und Befragungsergebnissen geeicht.

Insgesamt dauerte die Einarbeitung all dieser Daten in ein Verkehrsmodell annähernd zwei Jahre, bis 2003 der Startschuss für die Neuplanung des Autobusnetzes fiel.

6.5.4. Mängelanalyse

Auf Basis dieses Verkehrsmodells wurde eine umfassende Mängelanalyse im Busliniennetz gestartet, die in einem kompakt dargestellten Plan mündete, der die Verbesserungspotenziale kategorisierte, verortete und so verhältnismäßig einfach deren Erfassung ermöglichte.

Aus der Mängelanalyse traten folgende Probleme (aus struktureller Sicht) besonders hervor:

1. Das Liniennetz ist in seiner Struktur nur schwer kommunizierbar.
2. Der Bezirks-Binnenverkehr wird bei weitem nicht befriedigend abgedeckt.
3. Die Tangentialverbindungen sind unterbedient.
4. Viele Gebiete sind quantitativ deutlich überbedient, werden aber trotzdem nicht so wahrgenommen, da das zugrunde liegende Liniennetz nur schlecht erfassbar ist.

Insbesondere die Punkte 2 und 3 zeigen deutlich, dass neben den bekannten Einsparungsmöglichkeiten auch bedeutende Fahrgastpotenziale nicht ausgeschöpft sind, deren Abdeckung jedoch zusätzliche Einnahmen bringt und eine Aktivierung dieser Potenziale damit im Sinne einer besseren Kosten-Nutzen-Struktur jedenfalls weiterzuverfolgen ist.

Neben den strukturellen Mängeln brachte die Erhebung zu Tage, dass das Busliniennetz zu inhomogenen Intervallen aufweist (sowohl zwischen den Buslinien bzw. dem Bus und höherwertigen Verkehrsmitteln als auch innerhalb einzelner Buslinien durch Taktsprünge), das Netz nicht hierarchisch strukturiert ist und die Liniennummern nicht nachvollziehbar sind.

Im Vergleich mit den Vorgaben des Nahverkehrsplanes zeigte sich weiters zur Überraschung der Planer, dass fast alle Bereiche Münchens gemäß der Vorgaben des Nahverkehrsplanes, meist über diese hinaus, erschlossen sind. Jene 27.000 Einwohner, die gemäß Nahverkehrsplan nicht durch den ÖPNV erschlossen sind (aufgrund zu großer Distanzen zur Haltestelle oder schlichtweg überhaupt keiner öffentlichen Anbindung), wohnen zum überwiegenden Teil in Ortsteilen mit weniger als 200 Einwohnern (gemäß Definition im Nahverkehrsplan, vornehmlich in Randgebieten der Stadt), deren Erschließung selbst der offensive Nahverkehrsplan nicht vorsieht.

Dies zeigt in Summe, dass sehr wohl Potenzial bestand, das Netz zu straffen und gleichzeitig neue Kundengruppen zu erreichen, ohne massiv bestehende Fahrgäste zu verlieren.

6.5.5. Planung

Mit der Vorgabe aus dem Stadtratsbeschluss, ein besseres Verhältnis zwischen Kosten und Einnahmen zu erreichen, wurde eine Reihe von Maßnahmen ausgearbeitet, die bestmöglich den Einträgen der Beschwerdedatenbank, den Vorschlägen der Bezirksräte und jenen der Interessenvertretungen entsprachen und dabei gleichzeitig die festgestellten Mängel beseitigten.

Bereits früh wurde der Entschluss gefasst, das Busliniennetz in zwei Hierarchieebenen (‘MetroBus’ und ‘StadtBus’) aufzugliedern und die MetroBus-Linien auf hochfrequentierte, rasche Tangentialverbindungen auszulegen, während die StadtBus-Linien die Abdeckung des Binnenverkehrs¹³ zur Aufgabe haben.

Die Planung des Netzes selbst erfolgte ausschließlich manuell, wobei die Varianten (und auch einige Einzelentscheidungen) kontinuierlich im Verkehrsmodell auf ihre Wirkung im Gesamtnetz bewertet wurden. Da sich das Verkehrsmodell zum damaligen Zeitpunkt lediglich auf den ÖV beschränkte, wurden keine Wirkungen auf den Modal Split untersucht.

Für jede Variante wurde zudem wieder eine grafische Aufbereitung aller Auswirkungen im Vergleich zum Bestandsnetz erstellt, um auch Außenstehenden eine vergleichsweise einfache Bewertung der Auswirkungen zu ermöglichen. Für die Vorlage im Stadtrat wurde zudem jeweils eine Maximal- und eine Minimalvariante erarbeitet, welche die Auswirkungen bei minimalen Kosten und bei maximalem Nutzen aufzeigten; damit war von vorne

¹³In Einzelfällen bestehen Linien, die aus finanziellen Gründen nicht auf MetroBus-Standard gebracht wurden, jedoch entsprechendes Potenzial aufweisen würden.

6. Umgesetzte Liniennetzoptimierungen

herein der Rahmen bekannt, in welchem sich Kosten und Nutzen nach Verwirklichung des Konzeptes bewegen würden. In Zusammenarbeit mit Bezirksausschüssen und Interessensvertretungen wurden die Varianten weiter verfeinert, bis ein endgültiger Beschluss über die gewählte Variante auf Basis des Nutzens im Verkehrsmodell und der eingebrachten Anregungen vorlag. Diese endgültige Variante wurde dann im Stadtrat mit nur geringen Modifikationen beschlossen und die Umsetzung eingeleitet. Mit Fahrplanwechsel 2004 wurde das neue Netz eingeführt.

6.5.6. Begleitmaßnahmen

Ergänzend zu den Planungsmaßnahmen war ein eigenes Projektpaket nur für Kommunikationsaufgaben vergeben worden. Die Planung der Kommunikation erfolgte damit, entgegen der zumeist geübten Praxis, bereits verfahrensimmanent und nicht erst als ‚Vermittlung einer fertigen Lösung‘ oder gar als ‚Nebenprodukt‘ während des Planungsvorganges. Dies führte dazu, dass bereits die erste Kontaktaufnahme mit den Bezirksausschüssen professionell begleitet wurde, wodurch viele anfangs sehr ablehnend eingestellte Bezirksausschussmitglieder im Laufe der Planungen regelrecht ‚planungsbegeistert‘ (Gemmer am 20.4.2010) wurden.

Auf eine breit gefächerte Kommunikation der einzelnen Varianten in großem Stil wurde jedoch bewusst verzichtet, um weder falsche Erwartungen zu wecken noch vorzeitig Widerstände über Halbwahrheiten zu erfahren. Sämtliche Bürgerinformation im Planungsstadium erfolgte über die Ebene der Bezirksausschüsse, wo in Workshops intensive Mitsprache möglich war. Hierbei ist insbesondere die gewählte Methode erwähnenswert: Den beteiligten Bürgern wurden große Planplots und Farbstifte zur Verfügung gestellt, mit welchen Vorschläge direkt in die Pläne eingebracht werden können. Neben dem unbestreitbaren Spaßfaktor einer solchen Methodik bewirkte dies weiters, dass ein Gefühl der Mitarbeit (‚von Anfang an dabei gewesen‘) erzeugt wurde, womit eine Erhöhung der Akzeptanz erwartet (und letztendlich auch bestätigt) wurde.

6.5.7. Auswirkungen

Die quantitativen Auswirkungen der Liniennetzreform im Großen sind insofern nur schwer zu beziffern, als mit demselben Fahrplanwechsel auch der 10-Minuten-Takt auf der Münchner S-Bahn eingeführt wurde und somit ein weiterer maßgeblicher Qualitätssprung im Münchner ÖPNV erfolgte. Dennoch war seitens der Münchner Verkehrsgesellschaft ein steter Fahrgastzuwachs, mit einer Spitze von 16 % im Jahre 2007, vermeldet.

Auf den MetroBus-Linien wurde weiters bemerkt, dass sich bei diesen seit der Reform die Inanspruchnahme deutlich gesteigert hat. Die meisten neu eingeführten Buslinien verzeichnen seitdem ebenfalls einen steten Fahrgastzuwachs. Auf den StadtBus-Linien ist ferner zu bemerken, dass die kleinräumigen Verbindungen im Binnenverkehr sehr gut angenommen werden.

Weitaus besser können die Auswirkungen auf Basis ‚sanfter‘ Indikatoren beurteilt werden: Mit Einführung des neuen Liniennetzes gab es nur eine minimale Zunahme der Beschwerden und eine deutliche Zunahme von Lob.

Nicht zuletzt ist bemerkenswert, dass die MVG mit dem ‚kleinen Fahrplanwechsel‘ im Juni ausschließlich Fahrplananpassungen im Minutenbereich, nicht jedoch Änderungen im Liniennetz durchführen musste.

6.5.8. Fazit

Das Beispiel München ist selbstverständlich in seinem schieren Umfang nicht auf Graz (oder auf irgendeine andere Stadt) umzulegen, da mit der Liniennetzreform mehr planende Stellen gleichzeitig betraut waren als es in den meisten Städten entsprechende Verkehrsplaner gibt.

Dennoch lassen sich davon einige Leitsätze ableiten, die es zu beachten gilt:

1. Ein klar strukturiertes, einfach gestaltetes und bei Bedarf hierarchisch gegliedertes Liniennetz senkt die Zugangsschwelle zur ÖPNV-Nutzung.
2. Die Bedeutung kleinräumigen Binnenverkehrs (und damit dessen Potenzial an Fahrgästen) ist höher als zunächst erwartet.
3. Die Akzeptanz neuer Linienführungen bei bestehenden Fahrgästen lässt sich durch Bürgerbeteiligung und frühzeitige Einbindung in Planungsverfahren deutlich steigern.
4. Insgesamt muss die Kommunikation neuer ÖPNV-Netzstrukturen von vornherein als integraler Bestandteil der Planung betrachtet werden und nicht als nachträgliche Vermittlung bereits feststehender Konzepte.

Auch wenn die Planungsbeteiligten einräumen, heute wohl nicht mehr dieses Ausmaß an finanziellen Ressourcen und zeitlichem Rahmen zur Verfügung gestellt zu bekommen, herrscht seitens der MVG weitgehende Einigkeit darüber, dass das Projekt ‚TopBus‘ erfolgreich war und gut angenommen wird. Somit wurden die Ziele der Mitteleinsparung bei gleichzeitiger Hebung bisher unberücksichtigter Potenziale, also insgesamt eine deutliche Verbesserung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses, mit dem Projekt erfüllt.

6.6. Wiesbaden, Deutschland

Einwohnerzahl:	276.742
Stadtfläche:	203,90 km ²
Bevölkerungsdichte:	1358 EW/km ²
Raumstruktur:	Doppelstadt mit Mainz (197.000 Einwohner), 40 km von Frankfurt/Main entfernt
Netztopologie:	Sternförmiges Netz mit aufgelöstem Zentrum, Linienbündelung
Intervalle:	Grundintervall 10 Minuten (im Einzelfall 20 bzw. 30 Minuten), durch Linienbündelung 5 Minuten
Netzdynamik:	Liniennetzreform 2004
Mobilitätskultur:	16,2 % Modal Split für ÖV im Jahr 2003 (vgl. Baier und Hebel 2005, S. 6)
Gründe für die Auswahl:	Grundlegende Evaluierung des Liniennetzes 2004

6.6.1. Ausgangslage

Die Hessische Landeshauptstadt Wiesbaden¹⁴ betreibt bereits seit der Einstellung der Straßenbahn 1955 ein reines Autobus-Liniennetz mit rund 20 Linien. Das Liniennetz basiert in seinen Grundzügen bis heute auf einem Entwurf aus dem Jahre 1966, als in der Innenstadt Wiesbaden ein Einbahnkonzept eingeführt wurde und darauf aufbauend das bis heute bestehende Innenstadt-Achsenkreuz der Buslinien. Die Linienführung der Außenäste entspricht ebenfalls weitgehend diesem Konzept, wiewohl die Verknüpfung der Linienäste inzwischen mehrmals variierte.

Das Liniennetz ist außerhalb der Innenstadt stark radial ausgerichtet mit dichten Takten auf den Außenästen und wird durch nur wenige Tangentiallinien im 30-Minuten-Takt ergänzt. Alle anderen Linien werden durch die Innenstadt auf dem erwähnten Achsenkreuz geführt: In Ost-West-Richtung wird die Innenstadt südlich auf zwei Parallelstraßen im Einbahnbetrieb passiert. In Nord-Süd-Richtung gibt es zwei Achsen, die jeweils im Zweirichtungsverkehr betrieben werden und die Innenstadt östlich bzw. westlich passieren. Beide Achsen treffen beim Hauptbahnhof zusammen; es gibt hierbei einzelne Linien, die sowohl die Ost-West-Achse als auch eine der Nord-Süd-Achsen befahren.

Das Netz ist einerseits durch die für Autobusnetze sehr hohe Reisegeschwindigkeit von im Durchschnitt 21 km/h geprägt und andererseits durch Binnenfahreranteile von durchwegs über 50 %, teils über 80 % auf den Buslinien, welche durch die starke Linienbündelungen erzielt werden. Der Modal Split liegt dennoch bei – für diese Ausgangsbedingungen – eher bescheidenen 16 % für den ÖPNV.

¹⁴Die folgenden Ausführungen basieren, sofern nicht anders vermerkt, auf dem Interview mit Jörg Gerhard am 26. April 2010 in Wiesbaden.



Abbildung 6.5.: Die Wiesbadener Buslinie 27B als Kombination zweier Äste ist ein Ergebnis der Liniennetzreform.

6.6.2. Evaluierungen

2002 wurde seitens der Wiesbadener Stadtwerke (ESWE) eine Studie in Auftrag gegeben, inwieweit die innerstädtischen Einbahnführungen der Buslinien mit mehreren dezentralen Umsteigeknoten noch zeitgemäß sind. Die Studie kam zum Ergebnis, dass die bestehenden Linienführungen im Vergleich mit insgesamt drei alternativen Zweirichtungsführungen in Summe das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweisen, womit die unveränderte Führung der Linien in der Innenstadt als für weitere Planungsstufen unveränderlich festgelegt war.

Auf Basis dieser ersten Studie wurde eine Folgeplanung in Auftrag gegeben, die das Liniennetz ohne Veränderung der Innenstadtbedienung grundlegend evaluieren sollte. Auf Basis eines Nachfragemodells, dessen Daten seitens des Rhein-Main-Verkehrsverbundes (RMV) erhoben und kontinuierlich gepflegt wurden, erfolgte eine Bewertung der Verbindungsqualität aller Haltestellen mit dem Hauptbahnhof und einer der sechs Innenstadtknoten.

6.6.3. Maßnahmenpaket

Diese Mängelanalyse bildete den Ausgangspunkt für zwei Maßnahmenpakete: Erstens wurden lokal begrenzte Vorschläge zur Verbesserung bzw. Anpassung der Bedienungsqualität gemacht, die ihrerseits mittels Umlegung auf die netzweite Wirkung überprüft wurden. Zweitens wurden die Verknüpfungen der Linienäste untereinander dergestalt überprüft, indem von der letzten Haltestelle vor Erreichen der Innenstadt eine Nachfragespinne zur Ermittlung des stärksten weiterführenden Astes ermittelt wurde.

Vorschläge waren so angelegt, dass sie in zwei Stufen umgesetzt werden können, wobei die erste Stufe eine Kosteneinsparung, die zweite eine Hebung neuer Fahrgastpotenziale zum Inhalt hatte.

6.6.4. Auswirkungen

Letztendlich ist jedoch zu bemerken, dass nur ein kleiner Teil der Vorschläge tatsächlich umgesetzt wurde und zusätzlich einige Änderungen erfolgten, welche in erster Linie eine gleichmäßigere Auslastung der Linienäste zum Ziel hatten.

Die Auswirkungen all dieser Änderungen sind ebenfalls nur schwer zu beziffern, da gleichzeitig mit der Liniennetzreform 2004 auch die Fremdvergabe maßgeblicher Fahrleistungen an eine Tochtergesellschaft erfolgte, welche zu so großen Fahrgastbeschwerden führte, dass die Änderungen im Liniennetz praktisch unbeachtet blieben.

6.6.5. Fazit

Die Evaluierung des Liniennetzes in Wiesbaden erfolgte nach der klassischen Methode, Szenarien zu bewerten. Die gesamtheitliche Bewertung der Einzelmaßnahmen bei Festhalten der restlichen Parameter sorgt jedoch für eine verhältnismäßig objektive Bewertungsmöglichkeit dieser Szenarien, insbesondere im Vergleich mit dem nach denselben Kriterien bewerteten Nullfall.

Die manuelle Definition von Schwerpunkten, die für die Erreichbarkeitsanalyse hinzugezogen wurde, legt eine weitere Ebene der Bewertung über das eigentliche Nachfragemodell und ermöglicht so zusätzliche, gut kommunizierbare Aussagen. Ebenso ist der Ansatz, die Verknüpfungen der Durchgangslinien mittels Nachfragespinne zu bewerten, von Interesse.

Durch den geringen Vermaschungsgrad des Wiesbadener Netzes, die Festlegung auf bestehende Routen in der Innenstadt und die letztendlich nur rudimentär verfolgte Umsetzung der Vorschläge kann dieses Beispiel jedoch nicht sinnvoll auf Graz übertragen werden.

6.7. Zusammenfassung der Ergebnisse

Die betrachteten Betriebe brachten einige wesentliche Erkenntnisse zum Stand der Forschung und vor allem zum Stand der Planung bei Liniennetzoptimierungen. Insbesondere die Methodiken der Analyse von Liniennetzen und die Modalitäten in der Umsetzung einer Liniennetzreform schufen hierbei die Grundlage für die weitere Forschung. Folgende Erkenntnisse können zusammengefasst als Fazit formuliert werden:

1. Automatisierte, algorithmusgesteuerte Liniennetzoptimierung ist zwar in der Forschung weit fortgeschritten, findet jedoch in der Praxis noch keine Anwendung.
2. Die Anwendung von Nachfragemodellen ist allgemeiner Standard, auch wenn die Datenbasis in vielen Fällen noch zu grobkörnig ist und zu wenige Daten enthält, um allumfassende Aussagen tätigen zu können.
3. Bei der Analyse bestehender Fahrgastströme muss besondere Aufmerksamkeit auf bewährte Mobilitätsmuster gelegt werden, bei Mängelanalysen müssen stets die Stärken eines Liniennetzes mit erhoben werden. Die Vernachlässigung bestehender, gut angenommener Angebote kann zu Fahrgastverlusten führen, die nur schwer durch neu gewonnene Kunden wettgemacht werden können.
4. Die Generierung eines neuen Netzes kann stets nur ein kleiner Teil im Gesamtprozess der Liniennetzoptimierung sein. So früh wie möglich sind sämtliche Beteiligten einzubinden und deren Vorschläge einzuarbeiten. Berücksichtigte Wünsche mitbestimmungswilliger Bürger führen zu einer Identifikation der Nutzer mit dem Liniennetz und infolgedessen zu großer Akzeptanz.
5. Ein neu gestaltetes Liniennetz muss geplante und absehbare Änderungen der nächsten Jahre ohne grobe Modifikationen mit abbilden können. Ein einmal optimiertes Liniennetz sollte möglichst lange und möglichst unverändert bestehen. Selbst kleine Modifikationen eines einmal optimierten Gesamtsystems können, so nicht die netzweite Wirkung betrachtet wird, große Teile des Liniennetzes verschlechtern.
6. Die Begreifbarkeit neuer Liniennetze muss zu jeder Stufe der Planung das Ziel sein. Einfach nachvollziehbare Linienvläufe, hierarchisch aufgebaute Linien und systematische Liniennummern sind zentrale Eigenschaften gut begreifbarer Nahverkehrsnetze.
7. Die Herstellung möglichst vieler Direktverbindungen ist weniger zielführend als die Herstellung betonter Hauptlinien, die an funktionell durchdachten und übersichtlichen Umsteigepunkten Anschluss an Feinverteiler bieten. Die höhere Qualität der Hauptlinie und die verbesserte Stabilität der Verteilerlinien steigern insgesamt die Zuverlässigkeit und die Attraktivität.
8. Die integrierte Planung von Liniennetz und (grobem) Fahrplan erleichtert massiv den Optimierungsaufwand. Die Vereinheitlichung von Intervallen als Planungsgrundlage (und nicht als eigener, nachgeordneter Arbeitsschritt) führt bereits a priori zu verbesserter Anschlussplanung.

6. Umgesetzte Liniennetzoptimierungen

Teil III.

Anwendungsbeispiel

7. Grundlagen

7.1. Steckbrief von Graz

Einwohnerzahl:	259.038 Haupt- und 31.104 Nebenwohnsitzgemeldete im Jahr 2010 (Stadt Graz 2010a)
Stadtfläche:	127 km ²
Bevölkerungsdichte:	1992 EW/km ²
Raumstruktur:	Mit Abstand größte Stadt des Bundeslandes Steiermark, ländlich strukturierter und zersiedelter Raum rundum; nächste Oberzentren Leoben (25.000 Einwohner) in 60 km und Maribor (150.000 Einwohner) in 70 km Entfernung
Netztopologie:	Radialnetz aus Straßenbahn- und Hauptbuslinien, dazu einige Tangentiallinien; im Südwesten verschimmt die Zuteilung zu Radial- und Tangentiallinien
Intervalle:	Netz je ca. zur Hälfte in Taktfamilie 1 und 2, drei Linien alle 6 bzw. 12 Minuten
Netzdynamik:	Gering (Grundform des Straßenbahn-Liniennetzes seit 1971 unverändert, letzte Busliniennetzreform 1977, Taktfahrplan im Wesentlichen seit 1990 unverändert, Zusatzangebote zogen nur minimale Anpassungen des Grundnetzes nach sich)
Mobilitätskultur:	20 % Modal Split im ÖPNV im Jahr 2008 (Stadt Graz 2010b)

7.2. Planungsgebiet

Als Planungsgebiet für die Anwendung einer Liniennetzoptimierung wird das Gebiet des Grazer Südwestens ausgewählt. Es wird im Osten durch die Mur und im Norden durch die Eggenberger Allee begrenzt. Zusätzlich werden die Strecken vom Gemeindeamt Eggenberg zur Carnerigasse, vom Griesplatz zum Jakominiplatz und weiter bis Uni/Resowi und Wirtschaftskammer sowie von Puntigam zum Schulzentrum St. Peter mitberücksichtigt (siehe Abbildung 7.1). Die Leistungen aller Buslinien in diesem Gebiet fließen in das optimierte Liniennetz ein und werden durch die neuen Strecken ersetzt. Die Straßenbahnlinien 5 und 7, die in dieses Gebiet ragen, bleiben unverändert.

7. Grundlagen



Abbildung 7.1.: Das Planungsgebiet dieser Arbeit. Die Straßenbahnlinien sind rot gekennzeichnet.

Kartengrundlage: Stadtvermessungsamt Graz,

<http://geodaten1.graz.at/Stadtkarte/synserver?project=onlinestadtplan>

7.3. Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet dieser Arbeit erstreckt sich auf das gesamte Grazer Stadtgebiet. Die derzeit nur durch Regionalbuslinien bedienten Gebiete (Ries, Fölling, nördliche Weinzöttlstraße, Raach und Steinbergstraße) liegen zwar im Untersuchungsgebiet, können aber prinzipbedingt (ausschließliche Betrachtung der Stadtverkehrslinien) nicht berücksichtigt werden. Teile von Stattegg, Hart bei Graz, Raaba, Grambach, Gössendorf, Feldkirchen und Seiersberg werden derzeit durch Stadtbuslinien bedient. Diese Gebiete werden ebenfalls nicht berücksichtigt.

7.4. Untersuchungszeitraum

Für die Bewertung der Liniennetzoptimierung wurde nicht der gesamte Tag herangezogen. Einerseits erscheint eine Mitberücksichtigung der morgendlichen Spitzenstunde sowie des Schwachlastverkehrs allein daher nicht gerechtfertigt, da sich in diesen Zeiträumen innerhalb eines kurzen Zeitraumes, teils innerhalb einer Stunde und teils sogar mehrmals, das Intervall ändert. Eine realitätsnahe Bewertung hätte also eine Fahrplanerstellung weit über die feste Zuweisung eines Intervalls über den ganzen Tag erfordert. Aus diesem Grund wurde die Stunde der stärksten Belastung im Grazer Liniennetz, jene von 13 bis 14 Uhr, zur Bewertung herangezogen. Als Auswertungstag wurde der 22. Februar 2010 festgelegt, da die im Verkehrsmodell eingepflegten Fahrplandaten ab diesem Tag volle Gültigkeit haben. Eine Einschränkung des Untersuchungszeitraumes auf einen ‚typischen‘ Tag (Dienstag bis Donnerstag im Frühjahr oder Herbst, möglichst weit von Ferien und Feiertagen entfernt) ist nicht notwendig, da im Verkehrsmodell keine jahreszeitlichen Schwankungen der Nachfrage abgebildet werden.

7.5. Allgemeine Mobilitätskultur in Graz

Graz hat zwar eine relativ geringe Einwohnerdichte, welche jedoch durch die großen land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen im Nordosten und Westen der Stadt bedingt ist. Im Zentrum ist Graz sehr kompakt aufgebaut: Bei einer Fläche von 17 Quadratkilometern wohnen gut 120.000 Personen in den inneren sechs Bezirken, was einer Bevölkerungsdichte von 5660 Personen pro Quadratkilometer entspricht. Aus diesem Grund ist Graz prädestiniert, nur relativ kurze Wege zu erzeugen. Dies schlägt sich in der durchschnittlichen Reiseweite von 5,8 Kilometern nieder. Das Mobilitäts-Zeitbudget liegt bei für mitteleuropäische Verhältnisse durchschnittlichen 1:23 Stunden pro Tag (vgl. Kroißenbrunner 2009, S. 4), der Motorisierungsgrad ist mit 496 Fahrzeugen pro 1000 Einwohnern (vgl. Verkehrsclub Österreich 2010) für Österreich eher niedrig.

Der Grazer Modal Split (siehe Abbildung 7.2) ist stark vom mIV dominiert, welcher mit knapp 45 % den höchsten Anteil an der Verkehrsmittelwahl hat. Graz war während der 1990er-Jahre aufgrund des ambitionierten Radwege-Programmes als *Fahrradhauptstadt* bekannt und weist auch heute noch einen Fahrrad-Anteil von rund 16 % im Modal Split auf. Der ÖPNV kommt dabei auf 20 %. Über die Jahre verglichen, gab es zwischen

7. Grundlagen

2004 und 2008 einen merkbaren Umschwung in der Verkehrsmittelwahl, der Anteil des mIV ging erstmals (von damals 49 %) zurück, der Fahrrad- und ÖPNV-Anteil stiegen. Lediglich die Wege zu Fuß gehen weiterhin unverändert zurück und lagen 2008 bei rund 19 % (vgl. Stadt Graz 2010b).

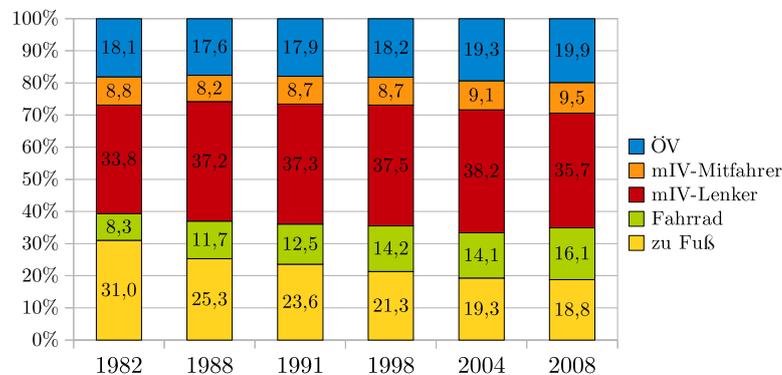


Abbildung 7.2.: Entwicklung des Modal Split in Graz.
(nach Stadt Graz 2010b)

In den am 23. September 2010 beschlossenen *Leitlinien Mobilität* der Stadt Graz wird angestrebt, den Anteil des mIV am Modal Split bis 2021 auf 37 % zu senken¹, was gleichzeitig auch bedeutet, dass im ÖPNV entsprechend Kapazität geschaffen werden muss: Wenn die Verschiebung des Modal Split je zur Hälfte von Radverkehr und ÖPNV getragen wird, muss der ÖPNV-Anteil auf 24 % steigen. Dies bedeutet einen Fahrgastzuwachs um 20 % oder rund 23.000 ÖPNV-Fahrten pro Tag², Steigerungsraten noch unberücksichtigt.

7.6. Netzstruktur in Graz

Der ÖPNV und dessen Liniennetz in Graz sind im Wesentlichen in ein historisch gewachsenes Grundnetz und eine Reihe später hinzugefügter Erweiterungen einzuteilen. Aufgrund des ab 1986 stetig wachsenden Linienangebotes ergeben sich im Liniennetz einige Unsystematiken und Überkapazitäten, da das Bestandsnetz bei Liniennetzerweiterungen nur in geringem Maße an die neuen Gegebenheiten angepasst wurde.

Der Hauptteil der Nahverkehrsleistungen in Graz wird durch die Graz AG Verkehrsbetriebe (GVB) in Eigenregie erbracht. Acht Linien werden von privaten Betreibern, drei Linien von GVB und privaten Betreibern gemeinsam betrieben.

Derzeit überschreiten neun Stadtbuslinien die Grazer Stadtgrenze und verkehren in umliegende Gemeinden: die Linien 32 und 78 nach Seiersberg, die Linie 48 nach Thal/Graz, die Linie 53 nach Stattegg, die Linien 75U und 77 nach Hart bei Graz, die Linien 72, 75U

¹Telefonische Auskunft von Martin Kroißbrunner am 24. September 2010.

²Rund 290.000 Haupt- und Zweitwohnsitzgemeldete, 80 % mobile Personen, 3,6 Wege pro mobiler Person, Modal-Split-Anteil von 20 % im ÖPNV ergibt 167.000 Fahrten, 20 % davon sind gut 33.000 Fahrten.

und 76U nach Raaba, die Linie 74 nach Gössendorf und die Linie 76U nach Grambach. Hierbei werden die Linien 72, 75U und 76U teils von den Umlandgemeinden finanziert, die Linie 78 vollständig von der Gemeinde Seiersberg. Alle anderen Linien werden zur Gänze von der Stadt Graz getragen.

7.6.1. Bestandsnetz

Das Bestandsnetz des öffentlichen Verkehrs besteht im Bereich der Straßenbahn aus jenen sechs Linien, welche aus dem Restnetz hervorgingen, das nach der Auflassung von Teilen des Straßenbahnnetzes zwischen 1955 und 1971 übrig blieb. Die Aufteilung der Linien auf die derzeitigen Äste blieb dabei seit 1971 unverändert.

Im Busbereich besteht das Grundnetz in seinen Grundzüge ebenfalls auf dem Netz nach Beendigung der Einstellungswelle, jedoch erfolgte 1977 eine groß angelegte Linienreform, die einige neue Verbindungen brachte, jedoch auf dem Grundliniennetz zuvor basierte. Die Hauptlinien blieben hierbei in ihren Grundzügen unverändert.

Zwischen 1977 und 1987 blieb das hier erwähnte Liniennetz in seiner Grundstruktur weitgehend unverändert, jedoch wurden schlecht nachgefragte Linien des Konzeptes von 1977 wieder eingestellt, teilweise bestanden Linien nur über wenige Wochen.

So besteht das Bestandsnetz, welches 1987 das Gesamtangebot regelmäßig verkehrender Bus- und Straßenbahnlinien (Werktagsnetz; Haltestellenamen wie derzeit in Verwendung) darstellte:

Straßenbahnlinien

- | | |
|----------------------------|---------------------------------------|
| 1 Alt Eggenberg–Mariarost | 5 Andritz–Brauhaus Puntigam |
| 3 Hauptbahnhof–Krenngasse | 6 Hauptbahnhof–Schulzentrum St. Peter |
| 4 Andritz–Stadion Liebenau | 7 Wetzelsdorf–St. Leonhard/LKH |

Buslinien

- | | |
|--------------------------------|--|
| 30 Gebietskrankenkasse–Geidorf | 36 Schulzentrum St. Peter–Raaba Kreisverkehr (heute durch Linie 72, 75U und 76U ersetzt) |
| 31 Webling–Wirtschaftskammer | 39 Urnenfriedhof–Jakominiplatz ³ |
| 32 Seiersberg–Jakominiplatz | 40 Jakominiplatz–Gösting |
| 33 Wetzelsdorf–Jakominiplatz | 44 Andritz–Stattegg Fuß der Leber (heute ohne Linienänderung Teil der Linie 53) |
| 34 Jakominiplatz–Werk Thondorf | 48 Gösting–Thal Kötschberg |
| 35 Jakominiplatz–Citypark | |

³bis 1989 ab Zentralfriedhof

7. Grundlagen

- | | |
|---|--|
| 49 Gösting–Thaler See (heute ohne Linien-
änderung Teil der Linie 48) | 67 Zentralfriedhof–Augasse (bis 1989 ab Ur-
nenfriedhof) |
| 52 Hauptbahnhof–Gösting | 74 Stadion Liebenau–Dörfla |
| 53 Hauptbahnhof–Andritz | 77 St. Leonhard/LKH–Ragnitz |
| 58 Hauptbahnhof–Mariagrün | 82 St. Leonhard/LKH–Stifting |
| 60 Krenngasse–Lustbühel | 85 Hauptbahnhof–Gösting |
| 64 Puntigam Bahnhof–Neuseiersberg Mühl-
weg (heute Teil der Linie 78, Halte-
stelle Mühlweg aufgelassen) | |

7.6.2. Netzerweiterungen

Ab 1986 wurde das Liniennetz schrittweise erweitert, wobei es die zwei Schwerpunkte auf Tangentiallinien sowie der Erschließung neuer Gebiete lagen – wie in Siegloch et al. (1992), S. 37, angegeben, überlappen sich diese Aufgaben natürlich.

- 1987** Neue Linie **63** Hauptbahnhof–Eisteichsiedlung
Verlängerung Linie **33** J.-Kienzl-Weg–Gemeindeamt Eggenberg
- 1988** Verlängerung Line **63** Eisteichsiedlung–Petersbergenstraße
- 1989** Neue Linie **50** Hauptbahnhof–Zentralfriedhof
Verlängerung Linie **67** Augasse–Zanklstraße
- 1990** Verlängerung Linie **1** Alt Eggenberg–Eggenberg/UKH
- 1992** Verlängerung Linie **39** Jakominiplatz–Uni/Mensa
- 1993** Verlängerung Linie **52** Exerzierplatzstraße–Shopping Nord
- 1995** Neue Linie **41** Andritz–St. Leonhard
Neue Linie **61** Krenngasse–Berliner Ring
Neue Linie **68** Schulzentrum St. Peter–Lustbühel
Neue Linie **69** Schulzentrum St. Peter–Petri Au
Neue Linie **71** Schulzentrum St. Peter–Ostbahnhof
- 1996** Verlängerung Linie **36** Raaba Kreisverkehr–Raaba Bahnhof über Neufeldweg
Verlängerung Linie **39** Uni/Mensa–Uni-Resowi
Neue Linie **72** (alt) Schulzentrum St. Peter–Liebenau Postamt

- 1997** Verlängerung Linie **41** Dürrgrabenweg–St. Leonhard/LKH
- 1999** Neue Linie **62** Puntigam Bahnhof–Carnerigasse
- Umlegung Linie **33** zwischen J.-Kienzl-Weg und Eggenberger Allee
- 2000** Verlängerung Linie **64** Puntigam Bahnhof–Schulzentrum St. Peter, ersetzte im Abschnitt Liebenau Murpark–Schulzentrum St. Peter die Linie 72 (alt))
- 2001** Verlängerung Linie **52** Shopping Nord–Andritz
- 2002** Neue Linie **78** Puntigam Bahnhof–Gedersberg
- 2003** Verlängerung Linie **64** Puntigam Bahnhof–Wetzelsdorf, Ersatz für die Linie 65 im Abschnitt Puntigam–Wagner-Jauregg-Straße, Abschnitt Puntigam Bahnhof–Neuseiersberg durch Linie 78 ersetzt
- 2005** Verlängerung Linie **52** Andritz–Ziegelstraße
- 2006** Umlegung der Endschleife Linie **63** Richtung ORF-Zentrum
- 2006** Verlängerung Linie **5** Brauhaus Puntigam–Bahnhof Puntigam
- 2007** Verlängerung Linie **4** Stadion Liebenau–Liebenau/Murpark
- Kürzung der Linie **74** bis Liebenau/Murpark
- Stichfahrt der Linie **64** über Liebenau/Murpark
- Verlängerung Linie **6** Schulzentrum St. Peter–St. Peter
- Kürzung der Linie **69** bis St. Peter
- Umlegung der Linie **68** über St. Peter Friedhof statt Weiherweg
- Verlängerung der Linie **35** Citypark–Don Bosco
- 2010** Neue Linie **72** Schulzentrum St. Peter–Raaba Bahnhof–Liebenau Murpark, Ersatz der Linie 36
- Neue Linie **76U** Schulzentrum St. Peter–Raaba Bahnhof–Grambach Gewerbegebiet/Gemeindeamt, Ersatz der Linie 36
- Neue Linie **75U** Liebenau Murpark–Raaba Kreisverkehr–Pachern P+R, Ersatz der Schleife Linie 36

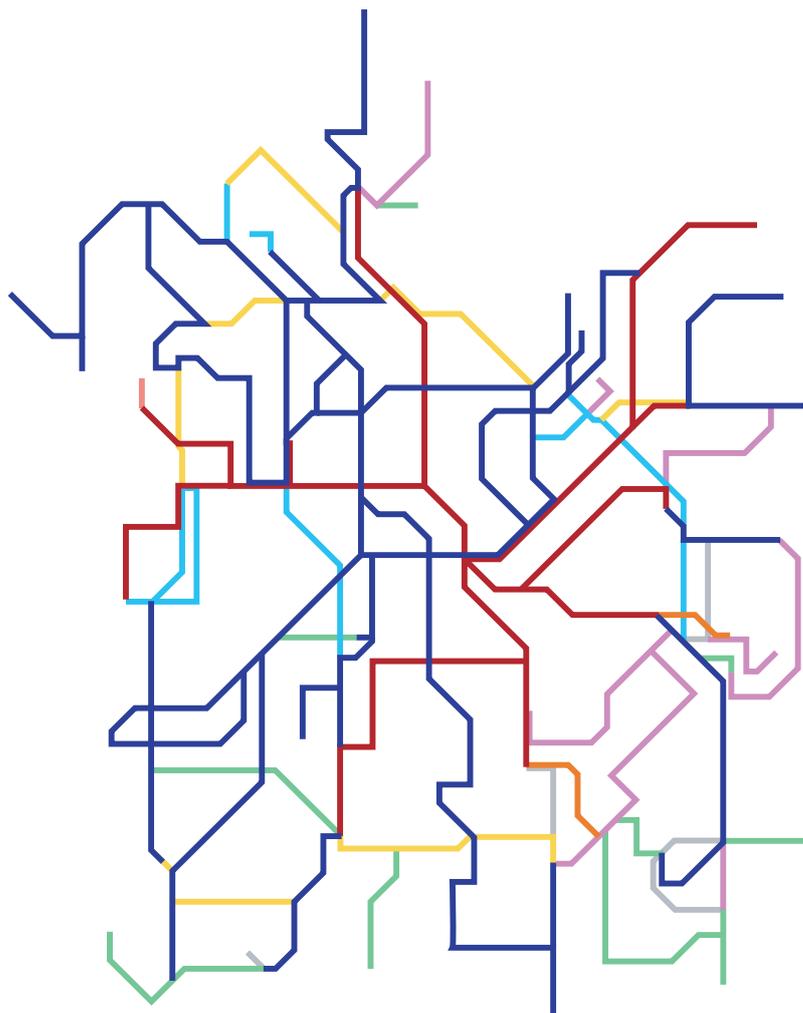


Abbildung 7.3.: Ausbaustufen des Grazer Liniennetzes, kategorisiert nach Änderungen im Busnetz bis 1994, bis 1996, bis 2002 und seit 2003 sowie Straßenbahn-Netzerweiterungen. Aufgelassene Streckenäste sind grau markiert.

Eigene Darstellung

7.6.3. Ausbauplanungen

Die genauen Planungen über Erweiterungen des Grazer Liniennetzes sind schwer zu beschreiben, da es in Graz keinen festgeschriebenen Nahverkehrsplan wie in Deutschland gibt. Erweiterungen und Zusatzbestellungen werden meist über separate Verträge im Rahmen des Verkehrsdienstvertrages zwischen Stadt Graz und GVB abgewickelt, der

demnach im Gemeinderat beschlossen werden muss und so weitgehend von politischen Festlegungen abhängig ist. Derzeit (Stand: August 2010) sind die im Folgenden genannten Planungen aktuell, die Wahrscheinlichkeit einer Änderung dieser Überlegungen ist jedoch groß.

Mittelfristige Maßnahmen

Die Ausführungen sind Ergebnisse von Gesprächen mit der Verkehrsplanung der GVB.

- Zur Entlastung der Straßenbahnlinie 7 sind Verlängerungen der Buslinien 58 (über die Hilmteichstraße) und 64 (über den Waltendorfer Gürtel, die Merangasse und die Elisabethstraße) nach St. Leonhard/LKH geplant.
- Die Buslinien 62 und 64 sollen im Westen umgestaltet werden, sodass die Linie 62 von Seiersberg zur Carnerigasse, die Linie 64 von Webling zum Schulzentrum St. Peter (und weiter nach St. Leonhard/LKH) und eine neue Linie 65 von Wetzelsdorf nach Puntigam verkehrt.
- Im Rahmen der neuen Nahverkehrsdrehscheibe Hauptbahnhof ist geplant, die Linie 6 statt der Linie 1 nach Eggenberg/UKH zu führen, dafür die Linien 1 und 3 bei der neuen Straßenbahnschleife Asperngasse zu wenden.
- Im Rahmen des Neubaus der medizinischen Universität Graz soll die Straßenbahnlinie 7 in das Stiftingtal verlängert werden.
- Die Straßenbahnlinie nach Eggenberg/UKH (1 oder 6) soll über die Asperngasse und die Laudongasse statt über die Alte Poststraße umgelegt werden.

Langfristige Maßnahmen

Die hier aufgelisteten längerfristigen Maßnahmen basieren auf der im Gemeinderat beschlossenen Ausbauplanung für weitere Netzausbauten der Grazer Straßenbahn, die jedoch eine unverbindliche Absichtserklärung darstellt.

- Die Linie 1 soll über die Zinzendorfgasse und die Leechgasse statt über die Leonhardstraße und die Hartenaugasse umgelegt werden, um die Universität an das Straßenbahnnetz anzuschließen. In diesem Rahmen ist geplant, die drei Buslinien 30, 31 und 39 in diesem Gebiet auf nur eine zu reduzieren.
- Vom Jakominiplatz soll eine Straßenbahnlinie entlang der derzeitigen Buslinie 31 über Don Bosco und die Peter-Rosegger-Straße Richtung Grottenhof geführt werden.
- Über die Strecke der derzeitigen Buslinie 40 soll weiters eine Straßenbahnlinie Richtung Fröbelpark und weiter Richtung Gösting gebaut werden.

7. Grundlagen

- Um diese Strecken auch im Umleitungsfall und zur Entlastung der Herrengasse nutzen zu können, sind eine Anbindung zwischen Keplerbrücke und Lendplatz und ein vollständiger Gleisknoten am Roseggerhaus geplant.
- Zur Erschließung des geplanten Stadterweiterungsgebietes ‚Reininghausgründe‘ soll von der Haltestelle Alte Poststraße aus eine erschließende Straßenbahnlinie Richtung Don Bosco und Hummelkaserne errichtet werden.
- Zuletzt enthält der Gemeinderatsbeschluss eine Straßenbahnlinie vom Schönaugürtel Richtung Theyergasse und eine Straßenbahnverbindung von der Keplerbrücke zur Universität.

7.7. Bestandsanalyse

7.7.1. Verwendete Kennzahlen

Um die in Kapitel 4 genannten Kriterien sinnvoll einsetzen zu können, ist eine Einschränkung auf einen Satz konsistent verwendbarer Maßstäbe notwendig. Hierbei steht weniger der Vergleich verschiedener Städte als vielmehr die vergleichende Bewertung verschiedener Szenarien im Vordergrund.

Tabelle 7.1.: Qualitätskriterien und deren Einsatz für die vergleichende Bewertung

Kriterium	Anmerkung
Nachfrageunabhängig	
Netzbildungsfaktor	Simonis und Wall
Haltestellendichte	wird nicht angewandt
Netzdichte	Simonis und Wall
spez. Haltestellendichte	wird nicht angewandt
spez. Netzdichte	Simonis und Wall
Nachfrageabhängig, belastungsunabhängig	
Strukturpotenzial	wird nicht angewandt
Verkehrsgunst	wird nicht angewandt
Netzwirksamkeit	Lee und Vuchic; zusätzlich ÖV-Reisezeitnachteile
Intervallqualität	eigene Bewertung
Betriebszeit	wird nicht angewandt
Umsteigehäufigkeit	Simonis und Wall

Nachfrage- und belastungsabhängig

Verkehrsaufwand	wird nicht angewandt,
Zeitaufwand	stattdessen mittlere
Kostenaufwand	Werte
Wegeaufwand	
Mittlerer Widerstand	Simonis und Wall;
Mittlere Reiselänge	gewichtete Reisezeit als
Mittlere Reisezeit	Widerstand
Mittlere Reisekosten	wird nicht angewandt
Verkehrsleistung	stattdessen mittlere ef-
	fektive Geschwindigkeit
mittlere effektive Geschwindigkeit	Simonis und Wall
Reisezeit:	
Zugangszeit	Schwager
Wartezeit	Schwager
Fahrzeit	Thomä; keine Modifika-
	tion
Umsteigezeit	halbes Intervall
Abgangszeit	Schwager; wie Zugangs-
	zeit
Zeitbewertung	Schwager
Reisezeitvergleich	mit IV aus Modell
Kapazität	VDV; nur als Planungs-
	vorgabe

Relative Kennzahlen

Gesamtverkehr	Relationsweise
Gesamtnachfrage	Relationsweise
Angebotsdichte	Relationsweise, Intervall
	als Kriterium
Verkehrsmittel/Modal Split	wird nicht angewandt
Umsteigehäufigkeit	Relationsweise
Einwohner/Modal Split	wird nicht angewandt
Arbeitsplätze/Modal Split	wird nicht angewandt
Ausbildungsplätze/Modal Split	wird nicht angewandt
Umsteigehäufigkeit/Modal Split	wird nicht angewandt

Netzdichte und spezifische Netzdichte Die Netzdichte ist nur bedingt von einer Variation der Liniennetze abhängig. In der Regel variiert nur die Linienlänge, die jedoch auch durch eine Beschränkung auf eine maximale Fahrzeugzahl relativ konstant bleibt.

7. Grundlagen

Die Linienlänge wird hier, ebenso wie die Einwohner und die Haltestellenanzahl, aus VISUM ausgelesen.

Verkehrsgunst Die Verkehrsgunst wird hier auf Basis der empfundenen Reisezeit $t_{ijr,emp}$ gewichtet. Für die Errechnung ist weiters der gesamte Verkehrsbedarfswert einer Zelle notwendig. Die Verkehrsgunst jeder Zelle wird als Summe der Kehrwerte aller Widerstände errechnet, die auf Relationen zur betrachteten Zelle bestehen. Der Durchschnitt der Verkehrsgunst, gewichtet über die Verkehrsbedarfswerte je Zelle, ergibt wiederum die Verkehrsgunst des Untersuchungsgebietes.

Netzwirksamkeit (Degree of Circuity) Als Basis für diesen Schritt sind ein Routenwiderstand w_{ijr} und ein Optimalwiderstand $w_{ijr,opt}$ sowie eine Pönalisierung der Umsteigehäufigkeit p notwendig. Der Routenwiderstand wurde in VISUM mittels einer fahrplanfeinen Umlegung als empfundene Reisezeit ermittelt. Die angewandten Faktoren für die Bewertung entsprechen der Bewertung im TCQSM, diese sind:

Tabelle 7.3.: Bewertung der Reisezeitkomponenten für die Netzbewertung

Fahrzeit im Fahrzeug	1,0
Zugangszeit	2,2
Abgangszeit	2,2
Gehzeit	2,2
Startwartezeit	2,1
Umsteigewartezeit	2,5
Umsteigehäufigkeit	2 Minuten Pönale pro Umsteigen

Für die Ermittlung des optimalen Widerstandes wurde statt eines Wunschliniennetzes die Reisezeit im Individualverkehr herangezogen. Die Basis dafür bietet eine IV-Umlegung, der die ÖV-Nachfragematrix zugrunde liegt. Letzteres erwirkt durch die geringere Fahrtensumme, dass keine Überlastungen auftreten, womit die subjektive Unterschätzung der IV-Reisezeit und Überschätzung der ÖV-Reisezeit abgebildet werden soll.

Intervallqualität Dieser Schritt erfordert die Bedienungshäufigkeit je Stunde und die Nachfragedaten je Relation. Die Bedienungshäufigkeit n_r lässt sich als Kenngrößenmatrix im Laufe einer Umlegung in VISUM generieren, die Nachfragedaten ergeben sich aus der $F_{ij}^{\text{ÖV}}$ -Matrix. Die Daten müssen jedoch zunächst um zu niedrige Verkehrsbedarfswerte gefiltert werden, da sich durch die feinzellige Struktur des Verkehrsmodelles nur sehr niedrige Werte im Vergleich zu der Bedienungshäufigkeit ergeben, was wiederum zu Verfälschungen des gewünschten Ergebnisses ‚Fahrtangebot je Nutzer‘ führt.

Umsteigehäufigkeit Auch die Umsteigehäufigkeit ergibt sich als Kenngrößenmatrix einer Umlegung und wird über die Nachfragematrix gewichtet.

Mittlerer Widerstand, mittlere Reiselänge, mittlere Reisezeit und mittlere effektive Geschwindigkeit Der Widerstand je Relation w_{ijr} in Form der empfundenen Reisezeit ergibt sich bereits aus der Netzwirksamkeit, die Reisesweite l_{ijr} und Reisezeit $t_{w_{ijr}}$ sowie die effektive Geschwindigkeit v_{ijr} je Relation ergeben sich als Kenngrößenmatrizen einer Umlegung. Für die Gewichtung wird wiederum die Nachfragematrix verwendet.

Zeitbewertung Wie im Absatz ‚Netzwirksamkeit‘ beschrieben, erfolgt die Zeitbewertung immanent während der Umlegung und muss daher nicht gesondert berücksichtigt werden.

Kapazität Die Berücksichtigung der Kapazität erfolgt in einem eigenen Schritt nach der Liniennetzerstellung, aber vor der eigentlichen Netzbewertung. Sie dient, wie in Kapitel 3.2.7 erklärt, der Erstellung von Linienbündeln.

Relative Kennzahlen Für die Errechnung der relativen Kennzahlen (siehe Kapitel 4.4) wird das Untersuchungsgebiet, dem Grazer Stadtentwicklungskonzept (STEK) folgend, in Oberbezirke rund um die Bezirkszentren gegliedert und dann eine Kennzahlenermittlung auf dieser Ebene durchgeführt.

Da es im konkreten Anwendungsfall nicht um die Bewertung eines Liniennetzes und die Ableitung des Mobilitätsverhaltens, sondern um einen Variantenvergleich geht, werden die relativen Kennzahlen nicht auf den Modal Split bezogen, sondern je Relation zwischen den Varianten verglichen. Dabei werden Reisezeit, Angebotsdichte und Umsteigehäufigkeit je Relation verglichen.

7.7.2. Auswertung des Nutzerverhaltens im ÖPNV von Graz

Als unumgängliche Voraussetzung einer fundierten Mängelanalyse bleibt in jedem Fall die Auswertung des Mobilitätsverhaltens im Bestandsnetz bestehen. Hierzu sollen folgende Punkte ausgewertet werden:

1. Auswertung des Verhältnisses wichtiger Kennzahlen, wie ÖV-Reisezeitnachteil zum mIV, Taktdichte, Betriebszeiten, Umsteigehäufigkeit zur Nachfrage je Region bzw. Korridor
2. Generierung eines ‚Wunschliniennetzes‘ durch eine verkehrsträgerfeine Umlegung (siehe Kap. 3.1.1)
3. Abgleich der Netzbelastungen im Bestandsnetz mit den aus Strukturdaten hervorgehenden Fahrgastpotenzialen

Wichtige Kennzahlen

Die hier dargestellten Kennzahlen entsprechen zum großen Teil den Angaben des vorigen Kapitels und sollen die Eckdaten des Bestandsnetzes abstecken.

7. Grundlagen

ÖV-Reisezeitnachteil Das Bestandsnetz weist einen durchschnittlichen Reisezeitnachteil von 2,27 Minuten auf (Errechnung aus der VISUM-Analyse, Gewichtung auf Basis der Nachfrage je Zelle), liegt damit über dem in der GIVE angestrebten Wert von 2,0.

Im Planungsgebiet (Betrachtung nur jener Relationen, welche ihren Ausgangs- oder Zielpunkt in einer Zelle des Planungsgebietes haben) liegt der ÖV-Reisezeitnachteil bei 2,33 Minuten.

Taktdichte Im Bestandsnetz besteht, wiederum auf Basis der VISUM-Analyse und einer Gewichtung nach Nachfrage errechnet, eine netzweite Taktdichte von 0,19 je Person und Relation. Diese Kennzahl für sich ist nur wenig aussagekräftig, wird jedoch später für Vergleiche herangezogen. Im Planungsgebiet beträgt die durchschnittliche Taktdichte 0,33.

Umsteigehäufigkeit Die netzweite Umsteigehäufigkeit beträgt 0,61, im Planungsgebiet liegt sie ebenfalls bei 0,61.

7.7.3. Betriebsdaten-Auswertung

Die Methodik der Betriebsdatenauswertung umfasst insbesondere eine Auswertung der Querschnittsbelastungen, der Umsteiger und der Fahrzeitprofile. Die Querschnittsbelastungen ergeben sich durch einen strategischen Einsatz der Zählfahrzeuge an Stichtagen in verschiedenen Umläufen der einzelnen Linien.

Die Umsteiger wurden in der Vergangenheit und auch durch die Arbeit von Königshofer (2009) anhand von Befragungen erhoben und liegen in dieser Form als solide Datenbasis vor. Seit 2006 besteht auch die Möglichkeit, in allen Straßenbahnfahrzeugen und knapp zwei Dritteln der Autobusflotte die Umsteiger anhand von Verfolgungen der Bluetooth-Kennung von Mobiltelefonen zu erheben. Diese Methode ist jedoch immer noch nicht ausgereift, da einerseits durch die ungleiche Verteilung aktivierter Bluetooth-Geräten in der Bevölkerung keine repräsentativen Daten vorhanden sind (und im Vergleichszeitraum keine kalibrierenden Erhebungen durchgeführt wurden) und andererseits noch keine Methode entwickelt wurde, um eine statistisch aussagekräftige Berücksichtigung nicht mit dem Erfassungssystem ausgestatteter Fahrzeuge zu ermöglichen.

Die GVB verfügen weiters über ein Rechnergesteuertes Betriebsleitsystem (RBL), in welchem die Fahrzeitprofile laufend erfasst werden und kursfein vorhanden sind. Seitens der Verkehrsplanung der GVB werden die Fahrzeiten der Linien jedoch kontinuierlich überarbeitet und der Realität angepasst, weshalb in dieser Arbeit in jedem Fall von den GVB-Planfahrzeiten ausgegangen werden kann.

Innerhalb der 20 % im Modal Split für den ÖPNV dominiert die Straßenbahn deutlich die Fahrgastzahlen. Selbst die schlechtest ausgelastete Straßenbahnlinie (Linie 3, knapp 18.500 tägliche Fahrgäste³) erreicht größere Fahrgastzahlen als die stärkst ausgelastete Buslinie (Linie 31, gut 12.500 tägliche Fahrgäste), wiewohl der gesamte, dicht bevölkerte

³Auswertung aus den GVB-Zählzahlen Winter 2009, wegen kleiner Ungenauigkeiten im GVB-internen Glättungsalgorithmus auf 500 Fahrgäste gerundet.

Nord- und Südwesten der Stadt ausschließlich durch Buslinien erschlossen wird. Die Vergleichbarkeit dieser Zahlen wird jedoch durch zwei Faktoren erschwert: Zum einen sind die Buslinien 31, 39 und 67 die einzigen Durchgangsbushlinien, die anderen radialen Buslinien enden am Jakominiplatz. Zum anderen werden von der Straßenbahn gerade jene Bereiche der Stadt vorrangig erschlossen, in welchen neben dichter Besiedlung auch hoher Parkdruck herrscht und ein niedriger Motorisierungsgrad zu erwarten ist, während die Buslinien eher Neubausiedlungen mit großzügigen Kfz-Abstellflächen erschließen.

Im System Straßenbahn liegt der stärksten belastete Abschnitt zwischen Jakominiplatz und Hauptbahnhof (knapp 41.000 tägliche Fahrgäste), in absteigender Reihenfolge weisen die Äste nach Andritz (gut 19.000 Fahrgäste) und St. Leonhard (knapp 16.000 Fahrgäste) die nächststärkste Auslastung auf. Im Buslinienetz besteht die größte Auslastung am Ast zwischen Jakominiplatz und Don Bosco (knapp 15.500 Fahrgäste), danach folgen die Äste zum Fröbelpark (gut 14.000 Fahrgäste) und vom Hauptbahnhof zum Geidorfplatz (knapp 8000 Fahrgäste). Die derzeit schwächsten belasteten Äste sind im Straßenbahnnetz jener nach Mariatrost (knapp 5000 Fahrgäste) und im Autobusnetz die Linien 30 und 48 (jeweils unter 500 Fahrgäste).

7.8. Vorstellung des Verkehrsmodells

Für diese Arbeit steht zur Analyse ein multimodales Verkehrsmodell der Technischen Universität zur Verfügung. Dieses Verkehrsmodell bildet im Endausbau den ÖV und den mIV im Großraum Graz ab und erlaubt es, auch Verschiebungen zwischen den Verkehrsträgern sowie induzierten Neuverkehr abzubilden.

In Graz ist das Modell aus 290 Verkehrszellen aufgebaut, welche in ihrer Grundform dem Wahlsprengel entsprechen, jedoch noch feiner aufgerastert wurden. Im Umland von Graz entsprechen diese Zellen den Gemeinden, bei größeren Gemeinden wurden diese in kleinere Zellen aufgeteilt. Mit dieser Einteilung wurde erreicht, dass jede Zelle etwa 1000 Einwohner hat; die Aufteilung ist jedoch nicht vollkommen homogen.

Für die Generierung des Verkehrs wurden mehrere verschiedene Wegeketten mit eigenen Ganglinien verwendet. Je Verkehrszweck ergaben sich somit eigene, verschiedene Nachfragedaten je Stunde. Die Daten der Nachfrage wurden anschließend über Mobilitätserhebungen und Haushaltsbefragungen geeicht, bis 24 Nachfragematrizen für eine stundenfeine Verkehrsmodellierung entstanden.

Die Daten der Linien des ÖPNV entstammen der Datenbasis des steirischen Verkehrsverbundes, die Auslastungsdaten der Linien den Zählraten der GVB, ÖBB und GKB. Das Modell enthält demnach die Fahrplandaten aller im Projektgebiet verkehrenden Linien und kann auch Verkehrstage innerhalb einer Fahrplanperiode abbilden.

Diese Arbeit entstand nur auf Basis des ÖPNV-Modells, da eine Ausweitung auf den mIV zum Erstellungszeitpunkt noch in Arbeit war und demnach noch nicht die erforderliche Qualität aufwies. Für die Anwendung auf die Liniennetzoptimierung wurde weiters lediglich die Nachfrage von 13 bis 14 Uhr herangezogen, da diese Stunde bereits auf die Nachfrage aus den GVB-Daten kalibriert war, während insbesondere die Abendspitze noch nicht die gewünschten Ergebnisse lieferte. Dies stellt jedoch kein

7. Grundlagen

wesentliches Problem dar, da die gewählte Stunde die stärkste am Nachmittag darstellt; eine Lastrichtung existiert zwar und könnte somit potenziell das Ergebnis verfälschen, doch wird in der Liniennetzerstellung stets mit Querschnittswerten gerechnet. Lediglich für die Überprüfung der Kapazität wurde die Lastrichtung berücksichtigt, um potenzielle Überfüllungen abbilden zu können.

Die Anbindungen dieser Verkehrszellen an Haltestellen erfolgte einerseits ‚klassisch‘ über Verbindungen von den Zellenschwerpunkten zu den nächstgelegenen Haltestellen. Zu Straßenbahnhaltestellen wurden jedoch bedeutend längere Anbindungsstrecken zugelassen, um abzubilden, dass Kunden eher geneigt sind, einen längeren Fußweg zur Straßenbahnhaltestelle in Kauf zu nehmen als eine Haltestelle mit dem Zubringerbus zu fahren.

Die Nachfragematrizen konnten nicht unmodifiziert für den Einsatz in dieser Arbeit übernommen werden. Der Hauptgrund dafür ist, dass in dieser Arbeit nur jene Gebiete berücksichtigt werden können, in denen auch Stadtverkehr besteht; dennoch steigen Fahrgäste aus überregionalen Verbindungen und von Regionalbuskorridoren innerhalb von Graz in der Regel auf Stadtverkehrsmittel um und verursachen dort einen Verkehrsbedarf. Um dies abzubilden, wurde im Bestandsnetz innerhalb des gesamten Verkehrsmodells eine fahrplanfeinfahrplanfeine Umlegung gerechnet. Mit deren Ergebnis wurde dann eine Belastungsspinne über alle bestehenden Stadtverkehrsstrecken erstellt, womit auch alle umsteigenden Fahrgäste erfasst wurden. Schließlich wurde aus dieser Spinne eine neue Nachfragematrix erstellt, mit der dann weitergearbeitet wurde.

Da für den mIV im Modell noch keine qualitativ ausreichenden Ergebnisse bestehen, Verschiebungen im Modal Split (‚Modal Shift‘) jedoch nur mit Tageswerten aller beteiligten Verkehrsträger errechnet werden können, können in dieser Arbeit weiters auch keine Wechselwirkungen im Modal Split und keine Auswirkungen induzierten Verkehrs berücksichtigt werden. Da die Bewertung der Liniennetze jedoch auf Basis typischer ÖV-Kennzahlen erfolgt, die Netze untereinander vergleichbar machen, kann dennoch eine Aussage über die Qualität der in dieser Arbeit erstellten Liniennetze getätigt werden.

8. Liniennetzgenerierung

8.1. Festlegungen im Sinne eines Nahverkehrsplanes

Da in Graz nur die GIVE als Instrument zu Festlegung von Bedienungsstandards existiert (siehe Kapitel 2.2), muss eine Reihe von Festlegungen über die mindestens zu erfüllenden Qualitätsstandards in dieser Arbeit getroffen werden. Dabei wird versucht, nahe an den in Kapitel 2.2 vorgestellten deutschen Nahverkehrsplänen und deren Vorgaben zu bleiben und Gebietsdefinitionen aus der GIVE, dem Grazer Stadtentwicklungskonzept und dem Grazer Flächenwidmungsplan zu entnehmen.

8.1.1. Gebietsabdeckung

Wie in der GIVE vorgesehen, wird folgende Festlegung getroffen: Innerhalb von 300 Metern rund um Haltestellen soll das gesamte *innerstädtische Wohngebiet*, alle *Gebiete mittlerer Dichte*, alle Bildungseinrichtungen, alle sonstigen wichtigen Einrichtungen und alle Betriebe mit mehr als 1000 Beschäftigten liegen. Alle übrigen Gebiete sollen innerhalb von 500 Metern rund um Haltestellen liegen. Diese Vorgabe ist bereits im bestehenden Liniennetz erfüllt, wie in Abbildung 8.1 ersichtlich. Eine Darstellung von Isochronen, also einer Skala der Gehzeit von Haltestellen, wäre zwar sinnvoll, wurde hier jedoch zwecks Kompatibilität mit den Festlegungen der GIVE nicht durchgeführt. Stattdessen werden die 300-Meter- und die 500-Meter-Radien überlagert dargestellt.

8.1.2. Verbindungsqualität

Die GIVE sieht für Verbindungen zwischen *Wohngebieten mittlerer Dichte* und dem *Stadtzentrum* Reisezeiten unter 30 Minuten mit maximal einmal Umsteigen vor; dies soll für diese Arbeit übernommen werden. Für die Verbindungen zwischen Bezirkszentren soll hier gelten, dass der ÖV-Reisezeitnachteil dem IV gegenüber unter 2 liegen soll.

Verkehrsbeziehungen für die verschiedenen Zentren (siehe Kapitel 2.3.4) und relationsbasierte Mindestintervalle fehlen jedoch. Die Definition der Relationen auf Basis des STEK und dessen Definition der Grazer Bezirkszentren, wichtigen Einrichtungen und Handelsschwerpunkte (siehe planliche Darstellung in Abbildung 8.3 auf Seite 131) ermöglicht jedoch auch eine solche Festlegung.

Hier sei demnach zusätzlich zu den Anforderungen aus der GIVE eine Vorgabe über die Bedienstandards gemacht (siehe Tabelle 8.1) – in Anlehnung an den NVP Wiesbaden, jedoch mit Anpassung an die linienweisen Vorgaben in der GIVE.

8. Liniennetzgenerierung

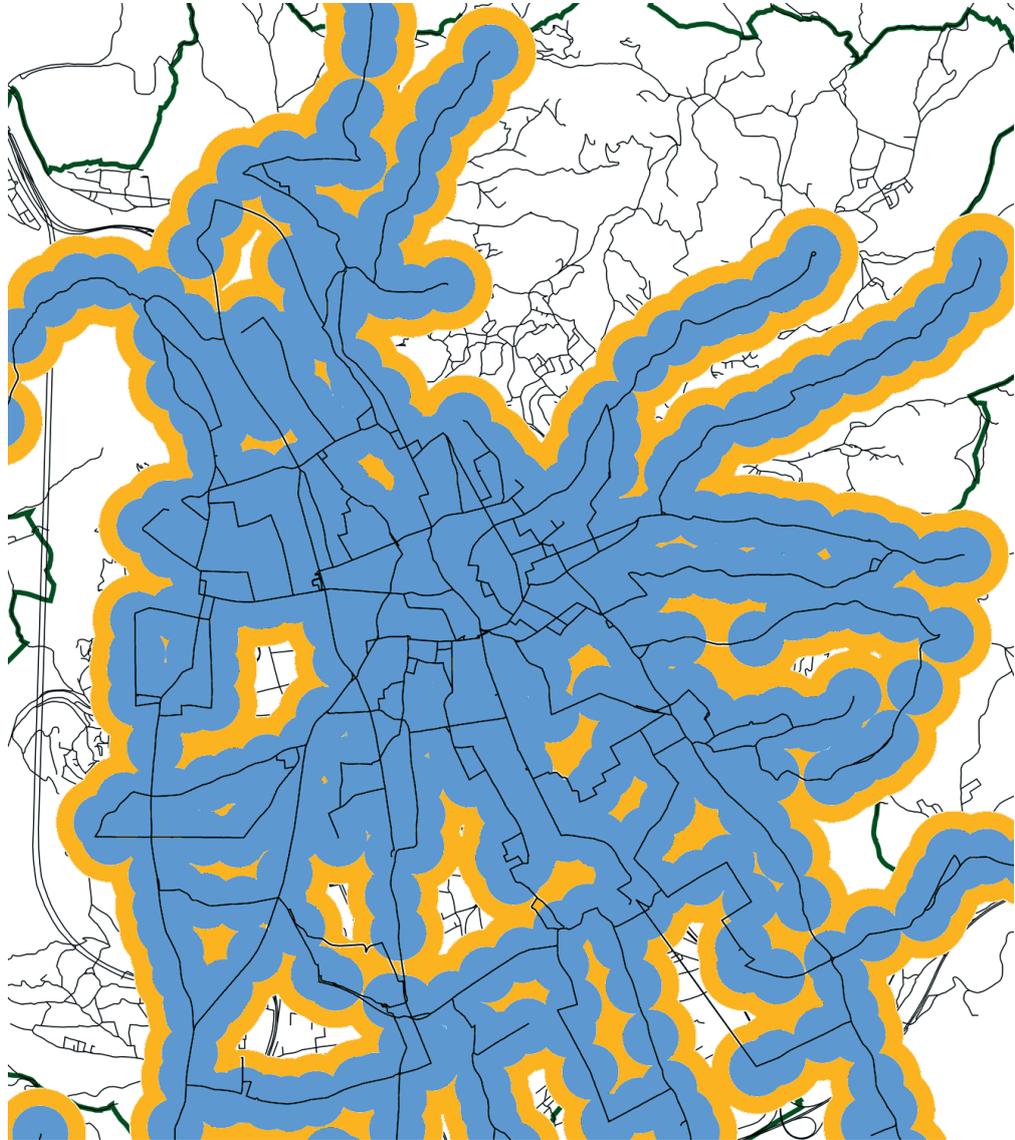


Abbildung 8.1.: Einzugsbereich der Haltestellen Grazer Stadtverkehrslinien mit 300- und 500-Meter-Radien um Haltestellen

H

Tabelle 8.1.: Relationsbezogene Mindestbedienstandards

	HVZ	NVZ	SVZ
Stadtzentrum	≥ 8 F/h	≥ 6 F/h	≥ 4 F/h
Stadtzentrum–Bezirkszentrum (>1000 FG/Tag)	≥ 6 F/h	≥ 6 F/h	≥ 4 F/h
Bezirkszentrum–Bezirkszentrum (>1000 FG/Tag)	≥ 6 F/h	≥ 4 F/h	≥ 4 F/h
Verkehrsströme zw. 100 und 1000 FG/Tag	Nachfrageorientiertes Angebot im Linienverkehr		
Verkehrsströme <100 FG/Tag	Prüfung alternativer Bedienformen		

8.1.3. Betriebszeit

Die GIVE sieht vor, dass alle *Wohngebiete mittlerer Dichte* und dichter bis Mitternacht zumindest alle 30 Minuten erschlossen werden sollen, dies soll auch hier übernommen werden. Diese Festlegung gilt für die gesamte Woche. Für die Relationen zwischen Bezirkszentren macht die GIVE keine Vorgabe. Da in dieser Arbeit keine Erstellung des Schwachlast-Liniennetzes erfolgt, ist eine weitere Festlegung nicht notwendig. Die Erfahrungen in München, Dortmund und Innsbruck legen jedoch nahe, auch Tangentialverbindungen mit ausgedehnten Betriebszeiten auszustatten, um das vorhandene Fahrgastpotenzial, insbesondere im Freizeitverkehr, auch bedienen zu können.

8.1.4. Auslastungsgrad

Entsprechend der VDV-Empfehlung (siehe Kapitel 4.3.4) werden auch hier folgende Maximalbelastungen der Fahrzeuge definiert:

Tabelle 8.2.: Festlegung des maximalen Auslastungsgrades

HVZ	Mittelwert über die stärksten 20 Minuten	80 %
	Mittelwert über die Spitzenstunde	65 %
NVZ	Mittelwert über eine Stunde	50 %
	Für Fahrten über 15 Minuten	Sitzplatz für jeden Fahrgast
SVZ		Sitzplatz für jeden Fahrgast

Die Vorgabe dieser Werte wird in dieser Arbeit jedoch nur verwendet, um unzureichende Kapazitäten in erstellten Liniennetzen zu erkennen und vermeiden.

8.2. Randbedingungen

8.2.1. Bestandsleistung

Für die Liniennetzgenerierung ist, unter der Vorgabe kostenneutraler Umsetzung, eine Erfassung der bestehenden Leistung vonnöten. Da für das zu erstellende Netz eine kursgenaue Erhebung der erforderlichen Betriebsmittel aus Gründen des dafür notwendigen Arbeitsaufwandes nicht möglich und in diesem Detaillierungsgrad auch nicht sinnvoll ist, soll im Weiteren das **Liniennetz zur Normalverkehrszeit montags bis freitags zu Schulzeiten** als Referenz herangezogen werden. Dies ist aus folgenden Gründen sinnvoll und hinreichend genau:

1. Die morgendlichen Verstärkungsfahrten in der Hauptverkehrszeit verkehren in erster Linie, um eine ausreichende Kapazität anbieten zu können. Es ist davon auszugehen, dass auch nach Durchführung einer Liniennetzoptimierung zur morgendlichen HVZ ähnlich viele Fahrzeuge wie derzeit benötigt werden, da verbesserte Liniennetze – wie die Erfahrung in München und Dortmund (siehe Kapitel 6.2 und 6.5) zeigte – in erster Linie Zuwächse durch wahlfreie Fahrgäste erzielen, die wiederum eher am Rand oder ganz außerhalb der morgendlichen HVZ unterwegs sind.
2. Ein Liniennetz des Schwachlastverkehrs kann immer erst nach Erstellung des normalen Netzes erstellt werden, um möglichst geringe Abweichungen von diesem zu erzeugen¹. Insofern muss die Beschränkung, auch im Schwachlastverkehr mit denselben Leistungen auszukommen wie im verglichenen Bestandsnetz, natürlich ebenso eingehalten werden, jedoch erfolgt dies erst während des Arbeitsschrittes, das SVZ-Netz tatsächlich zu erstellen.
3. Das Angebot zur Normalverkehrszeit besteht über den ganzen Tag (zwischen ca. 8.30 und ca. 18.30 Uhr) und weist damit eine konstante Anzahl eingesetzter Betriebsmittel auf. Im HVZ- und SVZ-Netz ändert sich die Anzahl der Fahrzeuge durch die häufigen Taktsprünge immer wieder, sodass Fahrzeuge teils kürzer als die Dauer eines Umlaufes im Einsatz sind.
4. Ferienfahrpläne schränken das Angebot in Graz zwar deutlich ein, bedeuten jedoch in den meisten Fällen lediglich die Verschlechterung um eine Taktstufe (z. B. von einem 10-Minuten-Intervall auf ein 12-Minuten-Intervall) sowie ein Entfall der Frühspitze. Die Netzstruktur ändert sich damit nicht und eine derartige Intervallverschlechterung ist prinzipiell auch weiterhin möglich, wenn auch aus Gründen der Merkbarekeit und der damit drei verschiedenen Taktfamilien nicht erstrebenswert.

Weiters wird als Grundlage jenes Angebot verwendet, welches **ab Schulbeginn im Herbst 2010** im Einsatz ist. Dies beinhaltet damit das verdichtete Angebot der Buslinien 58 und 63 sowie die Buslinie 211 vom Jakominiplatz nach Fölling sowie den auf zwei Busse reduzierten Umlauf der Linie 30. Ausgenommen hiervon ist jener eine Normalbus, der ab

¹Die Tauglichkeit eines Netzes, auch im Schwachlastverkehr ohne wesentliche Änderungen funktionell zu sein, muss natürlich schon bei der Erstellung des Liniennetzes bedacht werden.

Herbst 2010 auf den Linien 72 und 76U zusätzlich im Einsatz ist, um Verspätungen durch die Baustelle in der St.-Peter-Hauptstraße auszugleichen. Die Auflistung der Leistungen findet sich in Tabelle 8.3.

Tabelle 8.3.: Fahrzeugeinsatz im Planungsgebiet ab Herbst 2010

Linie	Anzahl Fahrz.	Fahrzeugtyp	Linie	Anzahl Fahrz.	Fahrzeugtyp
31	8	15-m-Bus	50	2	15-m-Bus
32	6	Gelenkbus	62	6	Normalbus
33	8	Gelenkbus	64	6	Normalbus
35	1	Midibus	67	5	Normalbus
39	5	Normalbus			

Im Planungsgebiet: 44 Busse (1 Midibus, 19 Normalbusse, 10 15-m-Busse, 14 Gelenkbusse²)

8.2.2. Endhaltestellen

Für die Erstellung von Linien mit vertretbarem Zeitaufwand sowie auch in der Realität mögliche Linienführungen ist zunächst eine Definition aller Haltestellen, die Endstellen sein können, vonnöten. Folgende Kriterien gaben Ausschlag zur Auswahl einer Haltestelle als potenzielle Endhaltestelle:

- Bestehende Endhaltestellen³
- Zusätzliche vorhandene Buswendeschleifen im Straßennetz
- Wendeplätze mit Eignung zur Endhaltestelle

Auf die hier ebenfalls aufgeführten Haltestellen Grottenhof und Göstinger Straße/UKH treffen keine der Kriterien zu, doch wurden sie mit in die Liste aufgenommen, da sie jeweils Teil von größeren Umwegen und strategisch wichtig sind, aber nicht auf der Strecke von durch Kürzest-Wege-Algorithmen erstellten Linienführungen liegen.

Von den Haltestellen, die im Planungsgebiet liegen, wurden jedoch nicht sämtliche für eine Linienerrstellung herangezogen, jene potenziellen Endstellen, die sich zu nahe am Jakominiplatz befinden, blieben unberücksichtigt.

Ankerstraße Schleife
Carnerigasse Bussteig
Center West Bussteig
Citypark Bussteig
Don Bosco Schleife
Eggenberger Allee Bussteig
Feldkirchen Raiffeisenplatz Bussteig
Gewerbepark Rudersdorf XAL Schleife

Grottenhof Bussteig
Göstinger Straße/UKH Bussteig
Hauptbahnhof Busschleife
Jakominiplatz Busschleife
Kapellenwirt Schleife
Karl-Etzel-Weg Schleife
Payer-Weyprecht-Straße Bussteig
Puntigam Bahnhof Busschleife

²teils durch 15-m-Busse ersetzt

³Stand nach Fertigstellung der Straßenbahnschleife Asperngasse im Jahr 2011

8. Liniennetzgenerierung

Schulzentrum St. Peter Busschleife
Seiersberg Schleife
Straßgang Süd Schleife
Uni-Resowi Bussteig
Urnenfriedhof Schleife

Webling Schleife
Wetzelsdorf Bussteig
Wirtschaftskammer Schleife
Zentralfriedhof Busschleife

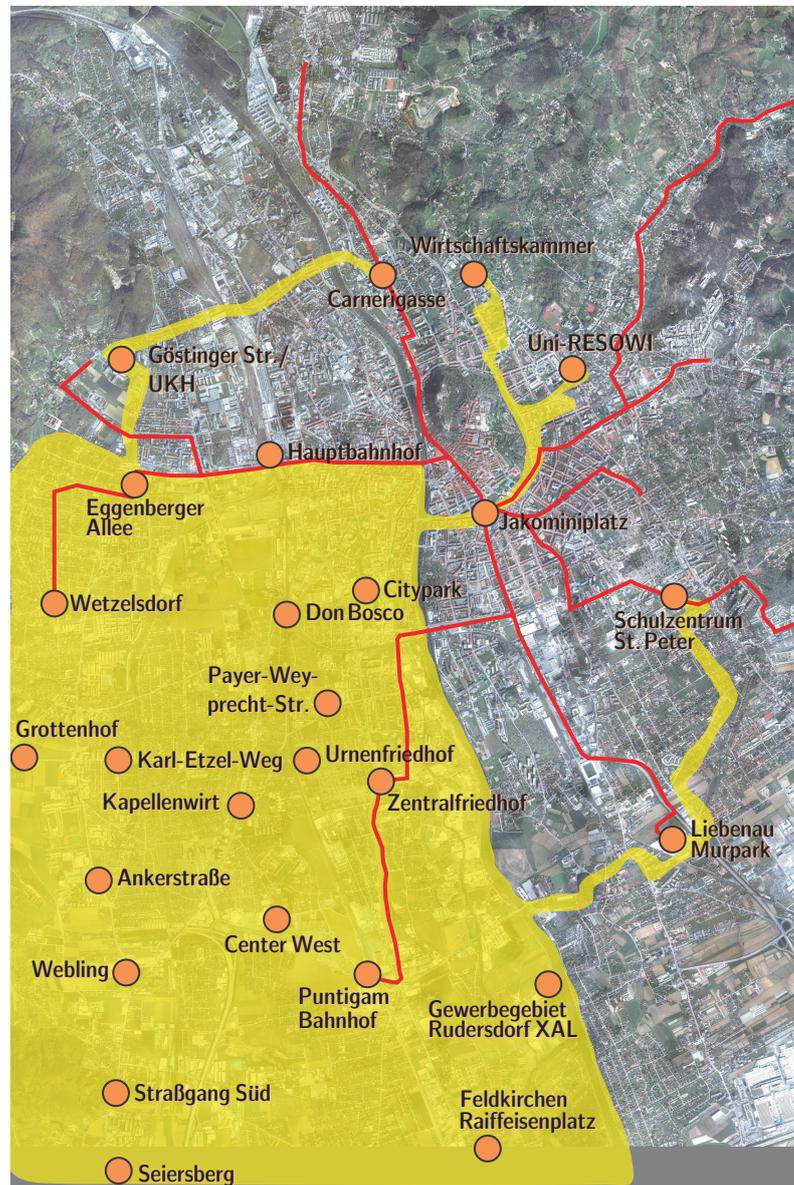


Abbildung 8.2.: Lage der ausgewählten Endstationen im Planungsgebiet

Kartengrundlage: Stadtvermessungsamt Graz,

<http://geodaten1.graz.at/Stadtkarte/synserver?project=onlinestadtplan>

8.2.3. Wichtige Relationen

Für den Vergleich von Reisezeiten verschiedener Szenarien empfiehlt es sich, wichtige Relationen festzulegen, zwischen welchen diese Vergleiche aufgestellt werden sollen (siehe dazu auch Schürmann 2004b, S. 21ff.). Gemäß der GIVE sind Bezirkszentren mit der Innenstadt möglichst direkt und innerhalb von 30 Minuten zu verbinden, weiters untereinander mit nur einmal Umsteigen und so, dass die Wegstrecke die doppelte Luftlinie nicht übersteigt. Auch zur Bedienung im Schwachlastverkehr wird darin die Aussage gemacht, dass diese Gebiete bis Mitternacht mindestens alle 30 Minuten zu versorgen sind (vgl. Luser et al. 1995, S. 38ff.).

Nutzungsschwerpunkte

Gemäß dem Grazer Stadtentwicklungskonzept sind die im Folgenden genannten Bereiche als Zentren definiert oder durch hochrangige Nutzung als solche zu betrachten. Dazu zählen Bezirkszentren, Handelsschwerpunkte am übergeordneten Straßennetz sowie wichtige öffentliche Einrichtungen (vgl. Rosmann et al. 2002, Abbildung „Funktionelle Gliederung“ im Anhang) sowie – da überregionale Umsteiger in dieser Arbeit nur eingeschränkt berücksichtigt werden – Umsteigepunkte des überregionalen Verkehrs, also Bahnhöfe und Regionalbusbahnhöfe. Zuletzt sind – um auch suburbane Verkehre abbilden zu können – die Ortszentren der Grazer Nachbargemeinden angeführt (siehe auch Abbildung 8.3). Verkehrserreger, die nur zu extrem eingeschränkten Zeiträumen hohe Verkehrsmengen emittieren (Veranstaltungshallen, Sportstadien), werden hier aufgrund der Irrelevanz im täglichen Verkehr nicht aufgeführt. In Klammern werden die einem Nutzungsschwerpunkt zugehörigen Haltestellen des ÖPNV aufgeführt.

Bezirkszentren

Andritz (Andritz)

Eggenberg (Gemeindeamt/Karl-Morre-Straße, Franz-Steiner-Gasse, Eggenberger Allee, Janzgasse/Eggenberger Bad)

Gösting (Exerzierplatzstraße, HTL BULME)

Liebenau/Murpark (Liebenau Postamt, Liebenau/Murpark, Casalgasse)

Mariagrün (Mariagrün)

Mariatrost (Mariatrost, Mariatrost Postamt)

Puntigam (Bahnhof Puntigam, Zentrum Puntigam, Berschenygasse)

Ragnitz (Berliner Ring, Berliner Ring West, Volksschule Berliner Ring)

St. Leonhard/LKH (St. Leonhard/LKH, Leonhardplatz)

St. Peter (Schulzentrum St. Peter, Morrehof, Terrassenhaussiedlung, Petersbergenstraße, Plüddemanngasse)

Stadtzentrum (Hauptplatz, Jakominiplatz, Kaiser-Josef-Platz, Wielandgasse, Andreas-Hofer-Platz, Schlossbergplatz/Murinsel, Südtiroler Platz/Kunsthaus)

Straßgang (Straßgang Zentrum)

8. Liniennetzgenerierung

Wetzelsdorf (Peter-Rosegger-Straße, Grottenhofstraße)

Wichtige Einrichtungen

Hauptuniversität (Mozartgasse, Attemsgasse, Universität, Uni-Mensa, Uni-Resowi, Uni-Beethovenstraße)

Fachhochschulcampus (Fachhochschule Joanneum, Alte Poststraße)

Kunstuniversität/Alte Technik (Maiffredygasse, Lichtenfelsgasse/Kunstuniversität, Rehbauerstraße, Mandellstraße)

St. Leonhard/LKH (St. Leonhard/LKH, Leonhardplatz)

Messequadrant (Jakominigürtel/Messe, Stadthalle, Fröhlichgasse/Messe)

Neue Technik (Neue Technik, Petersgasse/Sacré Cœur)

Schulzentrum St. Peter/Inffeldgründe (Schulzentrum St. Peter, Morrehof, Hans-Brandstetter-Gasse)

Schillerplatz/Wall-Zentrum (Krenngasse, Schillerplatz, Nibelungengasse, Herz-Jesu-Kirche)

Thondorf (Thondorf, Werk Thondorf)

UKH und LKH West (Eggenberg/UKH, Göstinger Straße/UKH)

Wirtschaftskammer (Wirtschaftskammer, Wifi)

Handelsschwerpunkte

Citypark (Citypark, Hohenstaufengasse, Karlauer Kirche)

Liebenau/Murpark (Liebenau Postamt, Liebenau/Murpark, Casalgasse)

Shopping Center West (IKEA, Center West)

Shopping City Seiersberg (Seiersberg Shopping City)

Shopping Nord (Shopping Nord)

Umsteigepunkte des überregionalen Verkehrs

Don Bosco (Don Bosco Bahnhof, Don Bosco Kirche, Don Bosco Süd)

Griesplatz (Griesplatz, Griesplatz-Zweiglgasse)

Hauptbahnhof (Hauptbahnhof, Eggenberger Gürtel, Babenbergerstraße)

Lendplatz (Lendplatz, Volksgartenstraße)

Liebenau/Murpark (Liebenau Postamt, Liebenau/Murpark, Casalgasse)

St. Leonhard/LKH (St. Leonhard/LKH, Leonhardplatz)

St. Peter (Schulzentrum St. Peter, Morrehof, Terrassenhaussiedlung, Petersbergenstraße, Plüddemanngasse)

Stadtzentrum (Hauptplatz, Jakominiplatz, Kaiser-Josef-Platz, Wielandgasse, Andreas-Hofer-Platz, Schlossbergplatz/Murinsel, Südtiroler Platz/Kunsthau)

Straßgang (Straßgang Zentrum)

Puntigam (Bahnhof Puntigam, Zentrum Puntigam, Berschenygasse)

Ortszentren der Nachbargemeinden

Faßberg (Faßberg Ort)

Feldkirchen (Feldkirchen Gemeindeamt, Bahnhof Feldkirchen/Seiersberg, Feldkirchen Raiffeisenplatz)

Gössendorf Dörfla GVB-Endstation

Gratkorn (Gratkorn Dr.-Karl-Renner-Straße)

Grambach (Grambach Gemeindeamt)

Judendorf/Straßengel (Judendorf Postamt, Judendorf-Straßengel Bahnhof)

Pachern (Pachern Gemeinde)

Raaba (Raaba Gemeindeamt, Raaba Bahnhof)

Schillingsdorf Schillingsdorf Ort

Seiersberg (Seiersberg GVB-Endstation)

Stattegg (Stattegg Dorfplatz)

Thal bei Graz (Thal Thalkreuz)

Weinitzen (Weinitzen Gh. Bachwirt)

Radialverbindungen ins Stadtzentrum

Mit Definition dieser Zentren ergeben sich eine Reihe von Radialverbindungen ins Zentrum; das Zentrum gilt in dieser Arbeit als erreicht, wenn die Haltestellen Jakominiplatz, Hauptplatz, Opernring und Andreas-Hofer-Platz angefahren werden. Folgende Radialverbindungen sind damit zu bewerten:

- Andritz–Stadtzentrum
- Eggenberg–Stadtzentrum
- Gösting–Stadtzentrum
- Liebenau–Stadtzentrum
- Mariatrost–Mariagrün–Stadtzentrum
- Puntigam–Stadtzentrum
- Ragnitz–St. Leonhard–Stadtzentrum
- St. Peter–Stadtzentrum
- Straßgang–Stadtzentrum
- Wetzelsdorf–Stadtzentrum

Radialverbindungen zum Hauptbahnhof

Der Hauptbahnhof als wichtiges Ziel für überregionales Umsteigen muss im Rahmen einer umfassenden Analyse relativer Kennzahlen ebenfalls berücksichtigt werden. Er gilt als erreicht, wenn die Haltestellen Hauptbahnhof, Eggenberger Gürtel oder Babenbergerstraße angefahren werden. Es sind dieselben Relationen wie bei den Radialverbindungen ins Zentrum zu untersuchen.

Tangentialverbindungen

Grundsätzlich können in dieser Rubrik alle Unterzentren miteinander verbunden und damit bewertet werden, hier sollen jedoch nur jene Relationen Erwähnung finden, bei denen auch eine Luftlinienverbindung nicht über das Stadtzentrum führen würde. Damit bleiben jene folgende Tangentialverbindungen zu bewerten, die in Abbildung 8.3 dargestellt sind.

8.3. Vorgehensweise

8.3.1. Beschreibung des Verfahrens

Wie im Kapitel 3.4 beschrieben und begründet, wird für die Durchführung der Liniennetzoptimierung das Linienvorschlagsverfahren nach Nökel angewandt (zur Beschreibung siehe Kapitel 3.2.7). Das Skript dazu ist in Python geschrieben, was eine sehr einfache Handhabbarkeit und Strukturierung des Quelltextes erlaubt. Das Skript in seiner Rohform wurde von der PTV AG zur Verfügung gestellt, jedoch im Rahmen dieser Arbeit deutlich verändert, wobei die Änderungen zu einem kleinen Teil eine Anpassung an die Syntax der Version 11 von VISUM sowie verbesserte Fehlerbehandlung und zum größeren Teil die Anpassung auf das verwendete Verkehrsmodell beinhalteten. Der Algorithmus wurde hierzu zunächst in einem Testnetz von zehn Haltepunkten, neun Verkehrsbezirken und einer grob strukturierten $F_{ij}^{\text{ÖV}}$ -Matrix untersucht und weiterentwickelt. In einem zweiten Schritt wurde der Algorithmus, noch ohne die konkreten Nachfragedaten, auf das tatsächliche Netz angewandt und abgestimmt.

Die einzelnen Parameter sind hierbei hoch konfigurierbar und ergeben sich aus dem gesamten Funktionsspektrum der Planungssoftware VISUM. Aus einer Umlegung und einer Linienerfolgsrechnung ergibt sich eine Reihe von Parametern, die zur Bewertung einer Linie herangezogen werden kann. Aus den Möglichkeiten wurde letztendlich die Zahl der Fahrgäste, gewichtet aus Direktfahrern, Einmal- und Zweimalumsteigern, sowie das Verhältnis zwischen Personen- und Servicekilometern herangezogen:

Gewichtung von Direktfahrern und Umsteigern: Aus einer Verkehrsumlegung erhält die Anzahl der Fahrgäste, die die Linie direkt, mit einmal und mit zweimal Umsteigen benützen. Die gewichtete Summe ist im Algorithmus standardmäßig auf $1,0 \cdot \text{Direktfahrer} + 0,5 \cdot \text{Einmalumsteiger} + 0,25 \cdot \text{Zweimalumsteiger}$ gesetzt, dies entspricht einer Gewichtung von 57:29:14 Prozent. Königshofer erhob, dass etwa 28 % der Grazer Fahrgäste nie, 56 % einmal, etwa 13 % zweimal und etwa 2 %

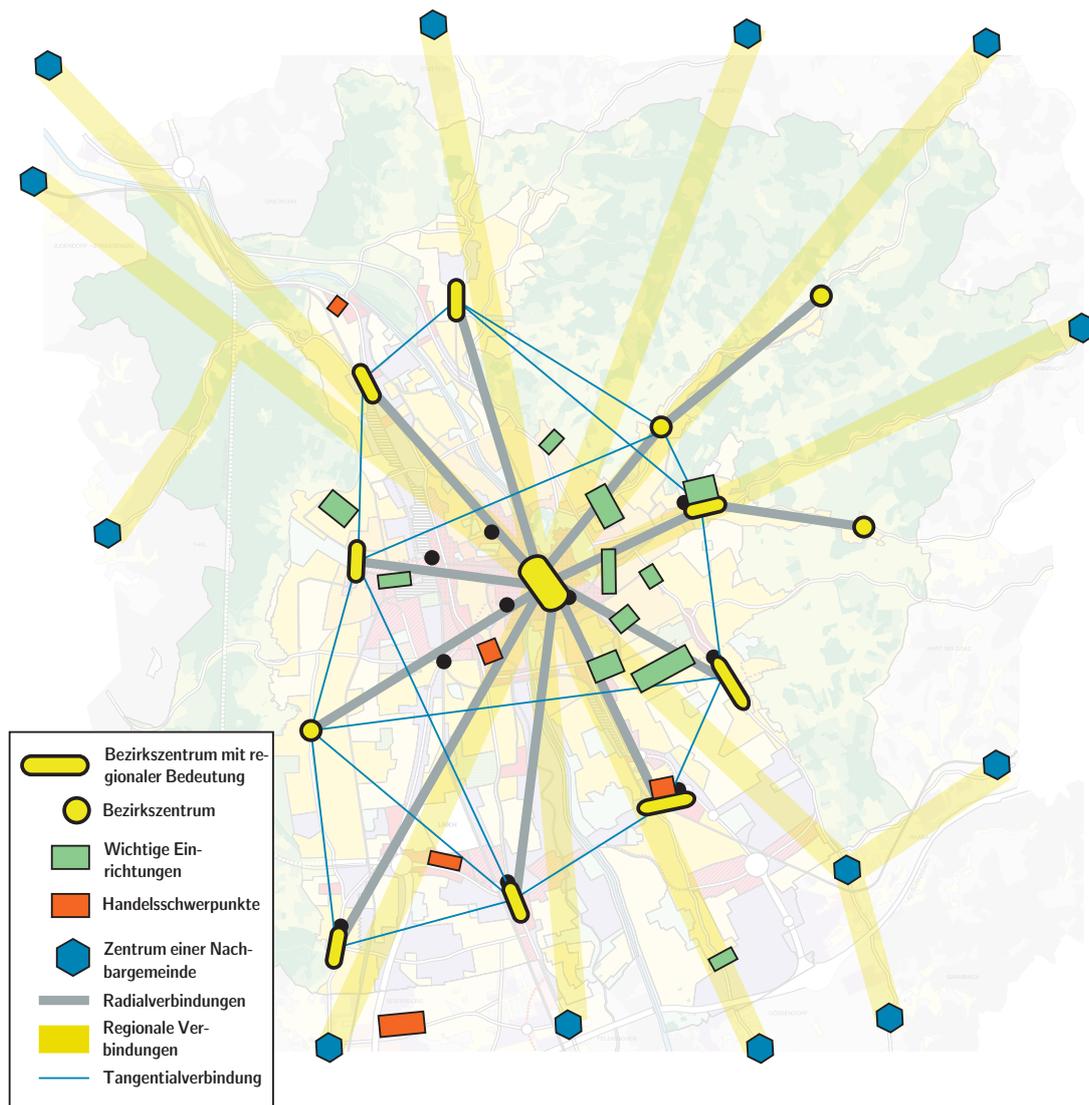


Abbildung 8.3.: Zentrenstruktur und Verbindungstypen in Graz

Eigene Darstellung

dreimal umsteigen (vgl. Königshofer 2009, S. 66), weshalb zunächst diese Werte als Multiplikatoren eingesetzt werden. Anzumerken ist, dass am Anfang einer Liniennetzkonstruktion nur die vorher als Bestandslinien fixierten Linien und die jeweilige Kandidatenlinie bestehen, weshalb die Anzahl der Umsteiger bei den ersten Linien noch ungenau ist. Mit zunehmender Netzgröße schwindet dieser Nachteil jedoch.

Verhältnis von Personenkilometern zu Fahrkilometern: Aus der Linienerfolgsrechnung ergibt sich die Kilometerleistung einer Linie, aus der Umlegung die Personenkilometer. Das Verhältnis dazwischen ergibt die Effizienz einer Linie. Die standardmäßige

8. Liniennetzgenerierung

Rechnung mit Fahrkilometern wurde hier auf eine Rechnung mit Platzkilometern erweitert, wobei bei Straßenbahnlinien eine durchschnittliche Garnitur mit 150 Plätzen, bei Autobussen ein Normalbus mit 105, ein 15-Meter-Bus mit 118 und ein Gelenkbus mit 138 Plätzen angesetzt wurde.

8.3.2. Linienstellung

Wie in Kapitel 3.2.7 erwähnt, ist der erste Schritt bei der Anwendung des Linienvorschlagsverfahrens die Erstellung neuer Linien. Hierzu wurden zunächst die Endhaltestellen im Projektgebiet (siehe dazu Kapitel 8.2.2) als Endstationen für die Linienkonstruktion ausgewählt. Auch wurde die Restnachfrage ermittelt, indem der nicht erfüllte Bedarf des Bestandsnetzes (des Liniennetzes außerhalb des Planungsgebietes) in eine Nachfragematrix überschrieben wurde.

In einem zweiten Schritt wurden allen Linien Fahrzeitprofile zugewiesen. Aufgrund der fehlenden Zuordnung von ÖV-Fahrzeiten in Strecken wurden die Fahrzeitprofile aus der durchschnittlichen Beförderungsgeschwindigkeit der Grazer Buslinien von 18 km/h errechnet⁴. Unter den entstandenen Linien wurden all jene, die bestehenden Buslinien entsprechen, mit diesen verglichen. Es stellte sich heraus, dass die Fahrzeiten sehr gut mit den Planfahrzeiten übereinstimmten und um maximal eine Minute (bei einer Fahrzeit von über 30 Minuten) abwichen. Aus diesem Grund wurde von einer weiteren Modifikation der Fahrzeit Abstand genommen.

Eine Errechnung der Fahrzeit aus der Beschleunigung, der Streckenhöchstgeschwindigkeit und den Haltezeiten wäre zwar technisch möglich, scheiterte jedoch am Datenmodell der Haltepunkte, welche im Verkehrsmodell zum Einsatz kommt: Durch einen Import der Fahrplandaten aus dem Datenbestand des steirischen Verkehrsverbundes verloren die Haltepunkte ihre Richtungsgebundenheit, wodurch sich die Anzahl der Haltepunkte je Strecke zumindest verdoppelte. Die Verwendung der Durchschnittsgeschwindigkeit stellt jedoch eine brauchbare Alternative dar.

8.3.3. Bewertung

Nach Einstellungsarbeiten am Liniengenerierungsalgorithmus konnte dieser auf die Eingabedaten angewendet werden. Der Durchlauf lieferte rund 300 Linien. Eine Reihe davon jedoch befuhr nur kurze Strecken zwischen benachbarten Endstationen und wurde daraufhin ausgeschieden, sodass im ersten Bewertungsdurchgang noch 150 Linien zur Auswahl standen. Nach jedem Durchgang⁵ wurde die bestbewertete Linie ausgewählt und die Nachfrage wiederum reduziert. Um die Rechenzeit zu verkürzen, wurden all jene Linien mit extrem niedriger Bewertung (bis 10 Fahrgäste pro Tag) aus der Menge der Kandidatenlinien entfernt. Auch Linien, die nur Teilstrecken der bereits ausgewählten

⁴Dazu wurden die Planfahrzeiten aller Buslinien und deren Länge jeweils summiert und daraus die Durchschnittsgeschwindigkeit errechnet. Bei einem Durchschnitt der jeweiligen Reisegeschwindigkeiten ohne Berücksichtigung der Linienlänge ergäben sich 17,8 km/h.

⁵Rechenzeit: je nach Rechenleistung 10 bis 20 Minuten je Linie, insgesamt also rund 25 bis 50 Stunden pro Durchgang.

Linie waren, wurden nicht weiter berücksichtigt. Dieses Verfahren wurde wiederholt, bis sich das erste Liniennetz ergab.

8.3.4. Modifikation der Vorgehensweise

Das angewandte Verfahren zeigte einige Schwachstellen, die die Aussagekraft der Bewertung deutlich verschlechterten: Durch die Reduktion der Nachfrage vor jedem Berechnungsvorgang blieben nur jene Fahrgastpotenziale übrig, die nicht durch Alternativen abgedeckt werden (siehe Abbildung 8.4). Weiters zeigte sich, dass die Netzwirkung neuer Linien durch diese Vorgehensweise nicht berücksichtigt werden kann, da einmalig umgelegte Fahrgäste aus der Nachfrage gelöscht werden und deren potenzielles Umsteigen auf die neue Linie damit unberücksichtigt bleibt. Ein weiteres Problem stellt sich durch die Tatsache, dass die Restnachfrage rasch so klein wird, dass keine seriöse Bewertung der weiteren Kandidatenlinien mehr möglich ist und die letzten Linien wiederum intuitiv erstellt werden müssen.

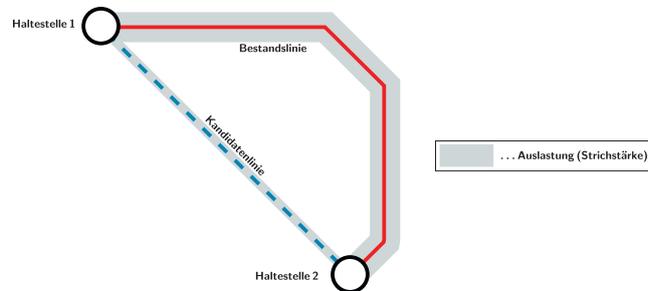


Abbildung 8.4.: Auswirkungen von bestehenden Alternativrouten auf die Nachfragereduktion: Die Bestandslinie ist zum Zeitpunkt der Reduktion das einzige Angebot, weshalb alle Fahrgäste auf diese Linie gelegt werden; all diese Fahrgäste werden aus der Nachfragematrix gelöscht, weshalb sie nicht auf die Kandidatenlinie ‚umsteigen‘ können, auch wenn diese ein bedeutend besseres Angebot darstellt. Die Bestandslinie ist dadurch viel stärker ausgelastet als dies in der Realität der Fall wäre.

Eigene Darstellung

Das Verfahren wurde also verändert, indem auf die Reduktion der Nachfrage verzichtet wurde. Potenziell führt dies jedoch dazu, dass Parallelführungen zu bestehenden, gut ausgelasteten Linien sehr gut bewertet werden, obwohl die Verdichtung einer Bestandslinie in der Regel nicht das Ziel einer Liniennetzreform ist. Aus diesem Grund muss bei einem Verzicht auf die Nachfragereduktion sorgfältig vermieden werden, solche Linien – auch bei guter Bewertung – auszuwählen. Es kann daher bei dieser Herangehensweise durchaus sein, dass erst die am dritt- oder viertbesten bewertete Linie in das Liniennetz aufgenommen wird.

8.3.5. Ergebnisse

Die Modifikation der Vorgehensweise hatte Erfolg: durch die ständig vorhandene, vollständige Nachfragematrix konnten Wechselwirkungen neu eingeführter Linien genauso abgebildet werden wie die Netzwirkung selbst der letzten erstellten Linien. Das vorhin erwähnte Problem der Parallelführungen musste jedoch ständig berücksichtigt werden, um die Erstellung letztlich unnötiger Linien zu verhindern.

8.4. Anwendung im Planungsgebiet

8.4.1. Szenarienbildung

Da in Graz, wie in Kapitel 2.3.6 beschrieben, keine einheitliche Taktfamilie besteht, eine Vereinheitlichung der Intervalle jedoch erstrebenswert ist, wurde ein Szenario mit einem Grundintervall von 10 Minuten je Linie und eines mit einem Grundintervall von 15 Minuten je Linie erstellt. Hierzu wurde den Kandidatenlinien das jeweilige Intervall zugewiesen, die restlichen Ausgangsvoraussetzungen jedoch nicht verändert.

Um bewerten zu können, welches Optimierungspotenzial durch die Verwendung einer automatisierten und objektiven Bewertung besteht, wurde zudem für jede Intervallgruppe intuitiv ein Liniennetz erstellt, welches den in Kapitel 3.1 beschriebenen Grundsätzen entspricht.

Zuletzt wurde noch ein Liniennetz erstellt, welches genau dem Grazer Bestandsnetz entspricht, jedoch mit der Linienbildungsmethodik in VISUM erzeugt wurde und demnach in Haltemuster und Fahrzeitberechnung den Kandidatenlinien entsprechen. Auch weisen diese Linien keinen koordinierten Fahrplan auf, sondern – wie die generierten Netze – einen durchgehenden, gleichbleibenden Takt über den ganzen Tag. Dieses Liniennetz diente ausschließlich der Plausibilitätskontrolle, um verfahrensimmanente Bewertungsfehler ausschließen zu können.

Somit ergaben sich – mit dem Bestandsnetz direkt aus dem Verkehrsmodell – sechs Szenarien, die einer weiteren Untersuchung unterzogen wurden.

Tabelle 8.4.: Liste der Szenarien

Name	Typ	Intervall	Anz. Fahrzeuge	Anz. Linien
Netz 0	Bestand	gemischt	44	9
Vergleichsnetz 0	Plausibilitätskontrolle	gemischt	44	9
Netz 2-10	Verfahrensgestützt	10	46	9
Netz 2-15	Verfahrensgestützt	15	44	13
Alternativnetz 10	Intuitiv	10	45	9
Alternativnetz 15	Intuitiv	15	43	11

Algorithmusgestützte Erstellung 1: Netz 2-10 Dieses Liniennetz wurde mit Hilfe des Linienvorschlagsverfahrens erzeugt. Die Erstellung erfolgte in zehn Durchgängen, bis ein Liniennetz erstellt war. Da nach Erreichen der maximalen Fahrzeuganzahl immer noch

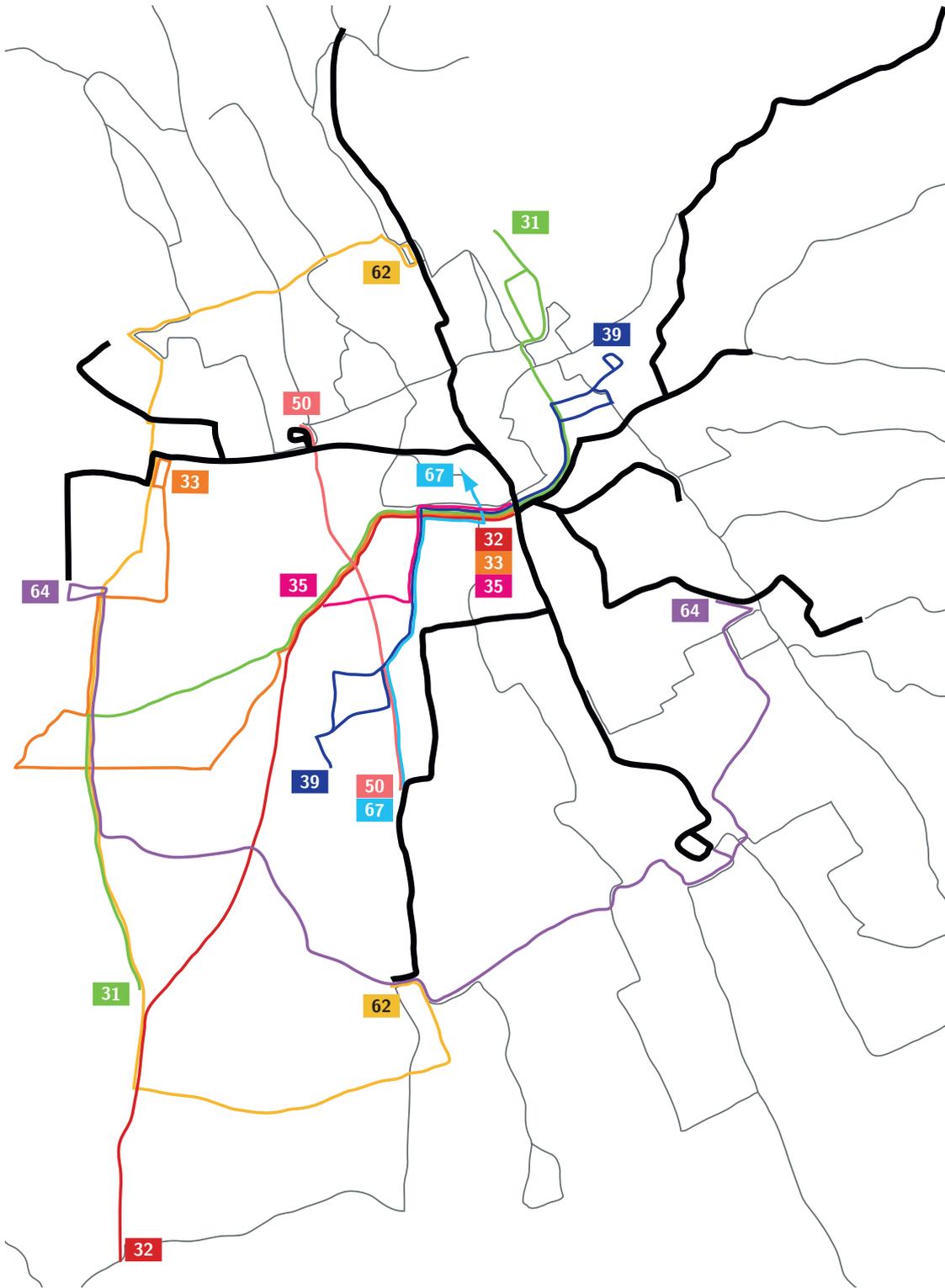


Abbildung 8.5.: Netz 0 bzw. Vergleichsnetz 0.

8. Liniennetzgenerierung

Strecken ohne Linienbetrieb verblieben, musste nach der Erstellung eine Reihe von Linien modifiziert werden. Da in jedem Schritt eine Rangliste aller Linien gespeichert wurde, konnten die einzelnen Linienkürzungen auf Basis dieser Reihenfolge durchgeführt werden – Linienkürzungen wurden nur vorgenommen, wenn es im gleichen Bewertungsschritt, in dem die zu kürzende Linie erstellt wurde, eine entsprechend kürzere Linie mit ähnlich guter Bewertung gab. Somit sollte der Einfluss intuitiver Planung reduziert werden.

Folgende Linien wurden erstellt:

1. **Q01**⁶ Webling–Peter-Rosegger-Straße–Don Bosco–Lissagasse–Jakominiplatz–Wirtschaftskammer; Rang 1
2. **Q8a** Hauptbahnhof–Citypark–Stadthalle–Schulzentrum St. Peter; Rang 1
3. **Q03** Seiersberg–Don Bosco–Roseggerhaus–Lendplatz–Carnerigasse; Rang 1
4. **Q02** Grottenhof–Grottenhofstraße–Don Bosco–Citypark–Jakominiplatz–Uni/ Resowi; Rang 1
5. **Q05** Seiersberg–Webling–Peter-Rosegger-Straße–Gemeindeamt Eggenberg–Göstinger Straße/UKH–Fröbelpark–Carnerigasse; Rang 1
6. **Q09** Hauptbahnhof–Zentralfriedhof–Puntigam Bahnhof; Rang 4 hinter drei Parallelführungen der bestehenden Linien
7. **Q08** Wetzelsdorf–Don Bosco–Citypark–Stadthalle–Schulzentrum St. Peter; Rang 8
8. **Q04** Zentralfriedhof–Jakominiplatz; Rang 2
9. **Q07** Straßgang Süd–Puntigam–Liebenau Murpark–Schulzentrum St. Peter; Rang 2
10. **Q06** Eggenberger Allee–Peter-Rosegger-Straße–Center West–Puntigam Bahnhof; Rang 3

Diese Liniennetzkonfiguration benötigte 55 Busse⁷, zudem ergab sich keine Direktverbindung von Seiersberg zum Jakominiplatz, wiewohl diese bereits in Schritt 6 an erster Stelle lag, aber zugunsten einer größeren Netzabdeckung nicht ausgewählt wurde.

Zunächst wurde daher entschieden, eine der beiden Linien über Citypark zum Schulzentrum wieder zu löschen, da eine Umlegung über das Gesamtnetz in diesem Bereich (bei einem 5-Minuten-Intervall) eine Auslastung von unter 30 % ergab. Bis zur Bewertung wurden daher zwei Subvarianten mitgeführt, in der jeweils eine der beiden Linien fehlte.

⁶die Liniennummern wurden nach Erstellung des Netzes systematisch vergeben, der Präfix Q ergibt sich aus der Versionsgeschichte

⁷Die Angaben zu der Anzahl benötigter Busse machen bewusst keine Aussage über die eingesetzte Gefäßgröße. In der Bewertung der Kapazität wurde stets davon ausgegangen, dass auf den Buslinien zum Jakominiplatz Gelenkbusse eingesetzt werden und auf den anderen Linien Normalbusse. Es zeigt sich jedoch auch im Grazer Bestandsnetz, dass einzelne Kurse von Gelenkbuslinien durchaus auch ohne Kapazitätsprobleme durch Normalbusse gefahren werden können. Eine genaue Aufschlüsselung ist demnach erst nach Erstellung eines detaillierten Fahrplans möglich.

Weiters zeigte auch der Ast zwischen Hauptbahnhof und Gürtelturnplatz sowie jener zwischen Seiersberg und Ankerstraße (jeweils 5-Minuten-Takt) eine derart schlechte Auslastung. Zunächst wurde die Linie Q05 bis Straßgang und die Linie Q01 bis Ankerstraße gekürzt. Für die innerstädtischen Äste wurden wiederum zwei Subvarianten erstellt und bis zur Bewertung beibehalten, in welchen für diese beiden Äste zwei Varianten bestanden:

1. Umlegung der Linie Q03 von Seiersberg zum Jakominiplatz, Kürzung der Linie Q09 zum Citypark, neue Linie vom Kapellenwirt zur Carnerigasse
2. Umlegung der Linie Q03 zum Jakominiplatz, Streichung der Linie Q09, stattdessen neue Linie vom Zentralfriedhof über den Gürtelturnplatz und den Lendplatz zur Endstation Uni/Resowi

Der erste Zugang entsprang der hohen Bewertung einer Linie vom Kapellenwirt zur Carnerigasse im Schritt 3, der zweite zielte auf eine Vermeidung einer Kurzlinie Citypark–Zentralfriedhof und eine Vermeidung des Parallelverkehrs mit der Straßenbahn zwischen Keplerbrücke und Carnerigasse ab.

Insgesamt ergaben sich also die vier Subvarianten a bis d zur Bewertung. In Abbildung 8.6 finden sich die Ausgangs- und die bestbewertete Subversion.

Algorithmusgesteuerte Erstellung 2: Netz 2-15 Dieses Liniennetz stellt die zweite Hauptvariante eines mit dem Linienvorschlagsverfahren erstellten Liniennetzes dar. Wie beim Liniennetz 2-10 wurde das Maximum an Fahrzeugen erreicht, bevor das ganze Bestandsnetz abgedeckt war, durch den 15-Minuten-Grundtakt und den dadurch geringeren Fahrzeugbedarf je Linie ergab sich im fertig erstellten Liniennetz ein Bedarf von 48 Fahrzeugen und demnach ein geringerer Nachbesserungsbedarf. Das Liniennetz wurde in elf Durchgängen erstellt, wobei im vorletzten Durchgang drei Linien gleichzeitig erstellt wurden:

1. **R03** Webling–Peter-Rosegger-Straße–Don Bosco–Lissagasse–Jakominiplatz–Wirtschaftskammer; Rang 1
2. **R10** Hauptbahnhof–Citypark–Stadthalle–Schulzentrum St. Peter; Rang 1
3. **R07** Straßgang–Don Bosco–Lissagasse–Roseggerhaus–Carnerigasse; Rang 1
4. **R02** Grottenhof–Peter-Rosegger-Straße–Don Bosco–Lissagasse–Jakominiplatz–Uni/Resowi; Rang 1
5. **R06** Seiersberg–Don Bosco–Lissagasse–Jakominiplatz–Wirtschaftskammer; Rang 3
6. **R13** Seiersberg–Peter-Rosegger-Straße–Gemeindeamt Eggenberg–Göstinger Straße/UKH–Fröbelpark–Carnerigasse; Rang 1
7. **R12** Hauptbahnhof–Zentralfriedhof–Puntigam Bahnhof
8. **R01** Wetzelsdorf–Don Bosco–Lissagasse–Jakominiplatz–Uni/Resowi; Rang 2

8. Liniennetzgenerierung

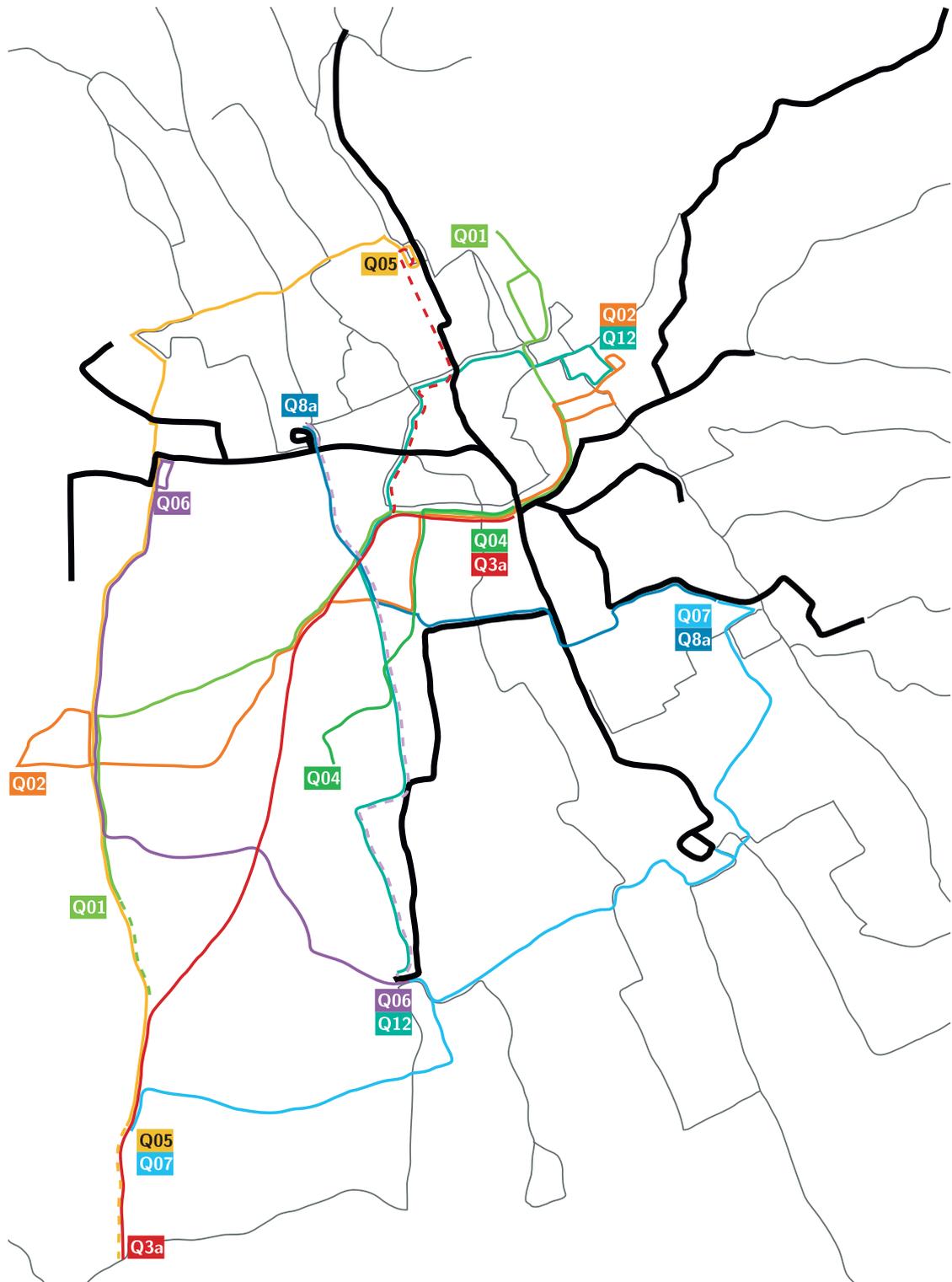


Abbildung 8.6.: Netz 2-10. Die Darstellung zeigt die bestbewertete Variante 2-10d. Die Ursprungsvariante ist gestrichelt angedeutet.

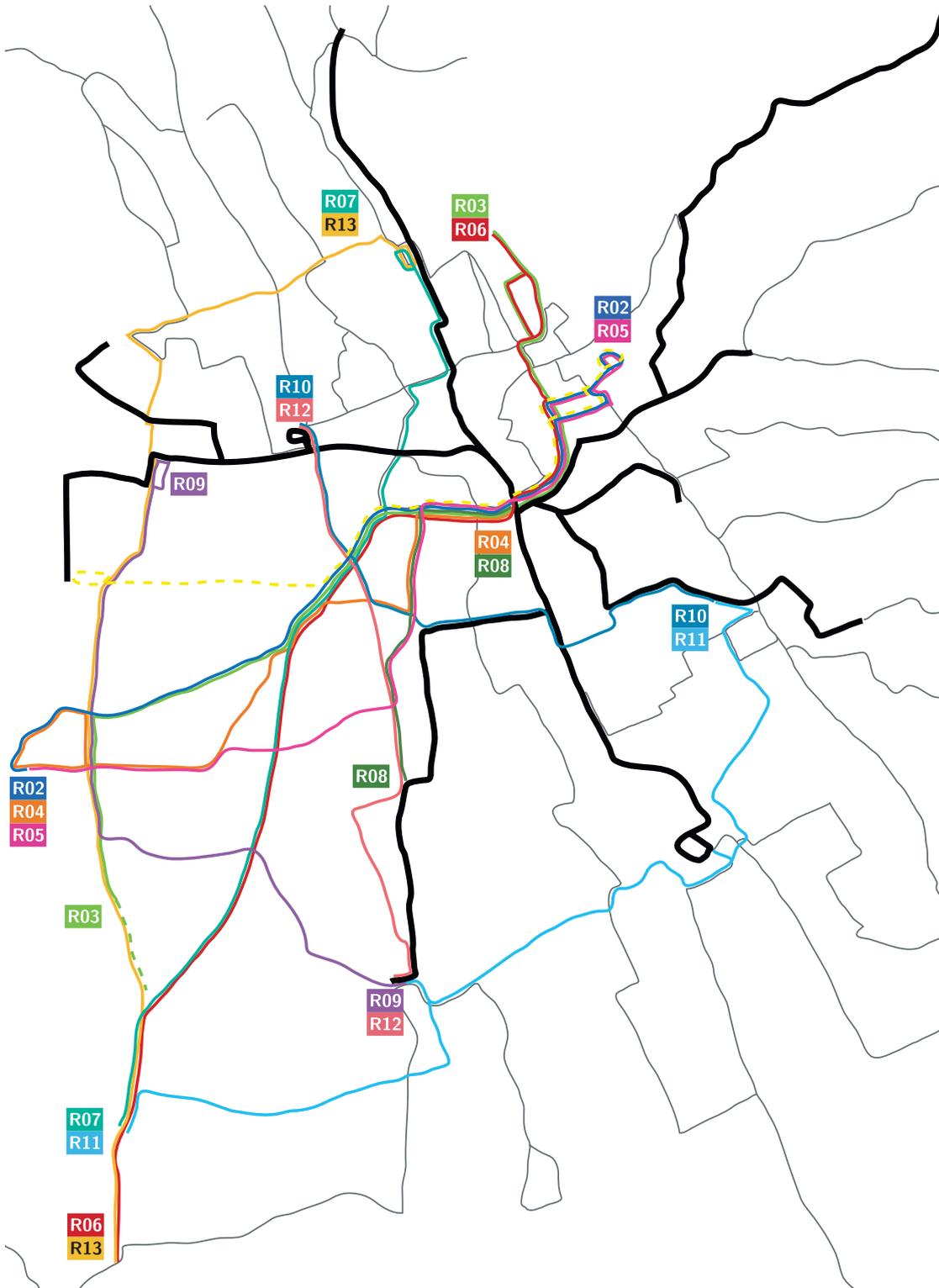


Abbildung 8.7.: Netz 2-15. Die Ursprungsvariante ist gestrichelt angedeutet.

8. Liniennetzgenerierung

9. **R11** Straßgang–Puntigam–Liebenau Murpark–Schulzentrum St. Peter; Rang 8
10. **R08** Jakominiplatz–Zentralfriedhof; Rang 2
R05 Grottenhof–Payer-Weyprecht-Straße–Jakominiplatz; Rang 3
R04 Grottenhof–Grottenhofstraße–Don Bosco–Citypark–Jakominiplatz; Rang 4
11. **R09** Eggenberger Allee–Peter-Rosegger-Straße–Center West–Puntigam Bahnhof; Rang 4

Nach einer Umlegung wies der Ast von Don Bosco nach Wetzelsdorf eine Belastung von nur zwei Fahrgästen pro Stunde auf, der Abschnitt zwischen Ankerstraße und Webling nur eine Auslastung von unter 30 %. Aus diesem Grund wurde die Linie R01 komplett gestrichen und stattdessen die Linie R05 zur Uni/Resowi verlängert. Die Linie R03 wurde zur Ankerstraße gekürzt, damit war die erforderliche Fahrzeuganzahl erreicht und keine weitere Aufteilung in Subversionen notwendig.

Zu diesem Szenario muss weiters angemerkt werden, dass die Linie R05 zwischen den Haltestellen Klusemannschule und Payer-Weyprecht-Straße eine derzeit nicht von Linienbussen befahrene Strecke befährt; in diesem Verlauf liegen die Straßenzüge Klusemannstraße–Bäckerweg, Haaräckerstraße–Egger-Lienz-Weg und Wiesenauergasse–Conrad-Kreuzergasse. Die Befahrbarkeit durch eine Gelenkbuslinie muss jedoch geprüft werden, eine Einrichtungsführung durch parallele Straßenzüge ist wahrscheinlich notwendig. Durch die drei möglichen Alternativen kann jedoch davon ausgegangen werden, dass eine Führung in dieser Relation möglich ist.

In Abbildung 8.7 sind Ursprungs- und Endversion planlich dargestellt.

Intuitive Erstellung 1: Alternativnetz 10 Für eine Abschätzung der Nützlichkeit algorithmusgestützter Verfahren wurden zwei Szenarien, eines je Taktfamilie, mittels Intuitivverfahren erstellt. Als Grundlagen standen dieselben Nachfragedaten des Nachfragemodells zur Verfügung wie für die algorithmusgestützte Erstellung. Zur Abschätzung der Nachfrage wurde zunächst ein Wunschliniennetz erstellt. Aus diesem ergab sich neben der starken Zentrumsbeziehung ein tangentialer Bedarf aus Straßgang Richtung Gemeindeamt Eggenberg aus Don Bosco Richtung St. Peter (siehe Abbildung 8.8).

Auf dieser Grundlage wurde begonnen, ein Liniennetz zu erstellen. Aufgrund der Vorgabe eines 10-Minuten-Grundintervalls wurde eine Strategie weniger, aber dichter Linien gewählt und auf umfangreiche Verzweigungen verzichtet. Durch die beschränkte Fahrzeuganzahl und die Notwendigkeit, eine neue Tangentiallinie zwischen Eggenberg und Schulzentrum St. Peter einzurichten, wurde im Wesentlichen die Führung dreier Linien vom Jakominiplatz bis Don Bosco und die Aufteilung auf die Äste Peter-Rosegger-Straße, Grottenhofstraße und Kärntner Straße beibehalten. Die beiden nördlichen Äste wurden jedoch am Grottenhof mit einem Linienwechsel verknüpft und die tangentiale Führung aufgegeben. Stattdessen wurde, um die Umsteigesituation für diese Fahrgäste zu attraktivieren, ein Linienbündel aus zwei Tangentiallinien geschaffen, die sich zwischen Gablenzkaserne und Gemeindeamt Eggenberg zu einem 5-Minuten-Takt ergänzen. Die

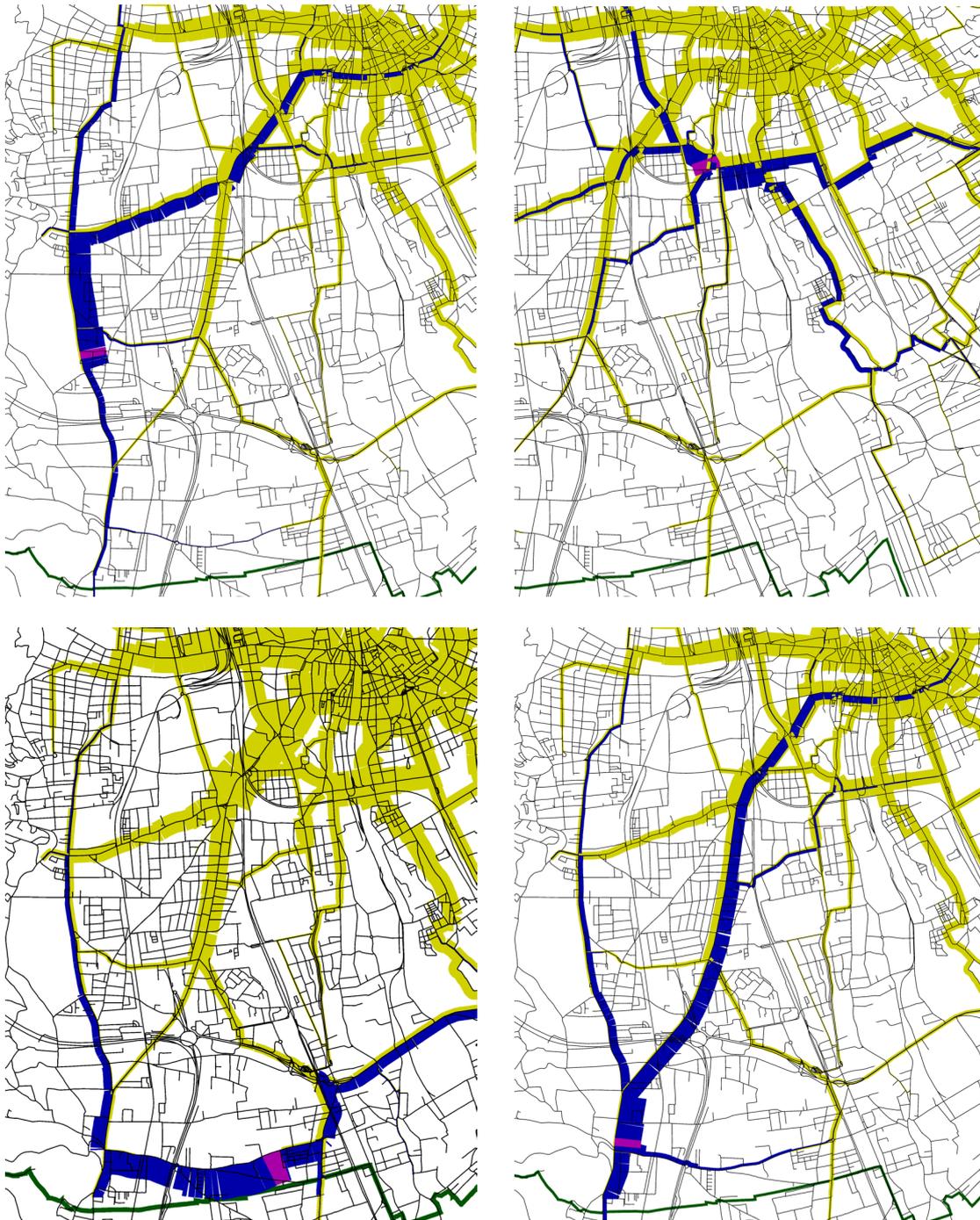


Abbildung 8.8.: Nachfragespinnen ausgewählter Strecken im Planungsgebiet.

8. Liniennetzgenerierung

Weiterführung der Tangentiallinie zwischen Liebenau und Puntigam in Richtung Straßgang, die Durchbindung der Linie vom Grottenhof zur Uni/Resowi sowie die Verlängerung der Linie Hauptbahnhof–Zentralfriedhof bis Puntigam folgte ebenfalls dem Hauptstrom der dort verkehrenden Fahrgäste. Der Fahrgaststrom aus Don Bosco Richtung Citypark wurde abgefangen, indem die Linie aus der Grottenhofstraße über den Citypark und die Karlauer Straße zum Jakominiplatz geführt wird, was auch wieder zu einem 5-Minuten-Takt in der Karlauer Straße führt. Die Linie zum Urnenfriedhof wurde in beide Richtungen durch die Kapellenstraße geführt, um die fahrgastreiche Haltestelle ‚Auf der Tändelwiese‘ in beide Richtungen direkt an den Jakominiplatz anzubinden. Schlussendlich ergaben sich neun Linien, die mit 45 Fahrzeugen befahren werden:

- B01** Grottenhof–Peter-Rosegger-Straße–Don Bosco–Lissagasse–Jakominiplatz–Wirtschaftskammer
- B02** Grottenhof–Grottenhofstraße–Don Bosco–Citypark–Jakominiplatz–Uni/Resowi
- B03** Seiersberg–Don Bosco–Lissagasse–Jakominiplatz
- B04** Urnenfriedhof–Jakominiplatz
- B05** Straßgang–Peter-Rosegger-Straße–Gemeindeamt Eggenberg–Göstinger Straße/UKH–Fröbelpark–Carnerigasse
- B06** Eggenberger Allee–Peter-Rosegger-Straße–Center West–Puntigam Bahnhof
- B07** Straßgang–Puntigam Bahnhof–Liebenau Murpark–Schulzentrum St. Peter
- B08** Eggenberger Allee–Don Bosco–Citypark–Stadthalle–Schulzentrum St. Peter
- B09** Hauptbahnhof–Zentralfriedhof–Puntigam Bahnhof

Intuitive Erstellung 2: Alternativnetz 15 Auch die Datengrundlage für die Erstellung dieses Liniennetzes bildete ein Wunschliniennetz mit Wegespinnen. Im Gegensatz zum 10-Minuten-Grundintervall besteht bei einem Viertelstundentakt eine höhere Flexibilität in der Angebotsdimensionierung, da sowohl der $7\frac{1}{2}$ - als auch der 15-Minuten-Takt brauchbare Angebotsdichten ergeben, ohne, wie der 5-Minuten-Takt, ein Überangebot darzustellen. Aufgrund dieses Grundintervalls wurde eine Philosophie der Linienbündel gewählt, um auf wichtigen Strecken einen $7\frac{1}{2}$ -Minuten-Takt durch Überlagerung anbieten zu können. Weiters wurde mit dieser Konfiguration eine Verringerung des Umsteigewzwanges angestrebt, indem erstens die Äste wechselseitig verknüpft wurden und zweitens den Radiallinien, wo es notwendig erschien, kurze tangentielle Stücke angehängt wurden. Damit ergab sich folgendes Liniennetz, welches mit 43 Fahrzeugen betrieben werden kann:

- A01** Wetzelsdorf–Peter-Rosegger-Straße–Don Bosco–Lissagasse–Jakominiplatz–Uni/Resowi
- A02** Grottenhof–Peter-Rosegger-Straße–Don Bosco–Lissagasse–Jakominiplatz–Wirtschaftskammer

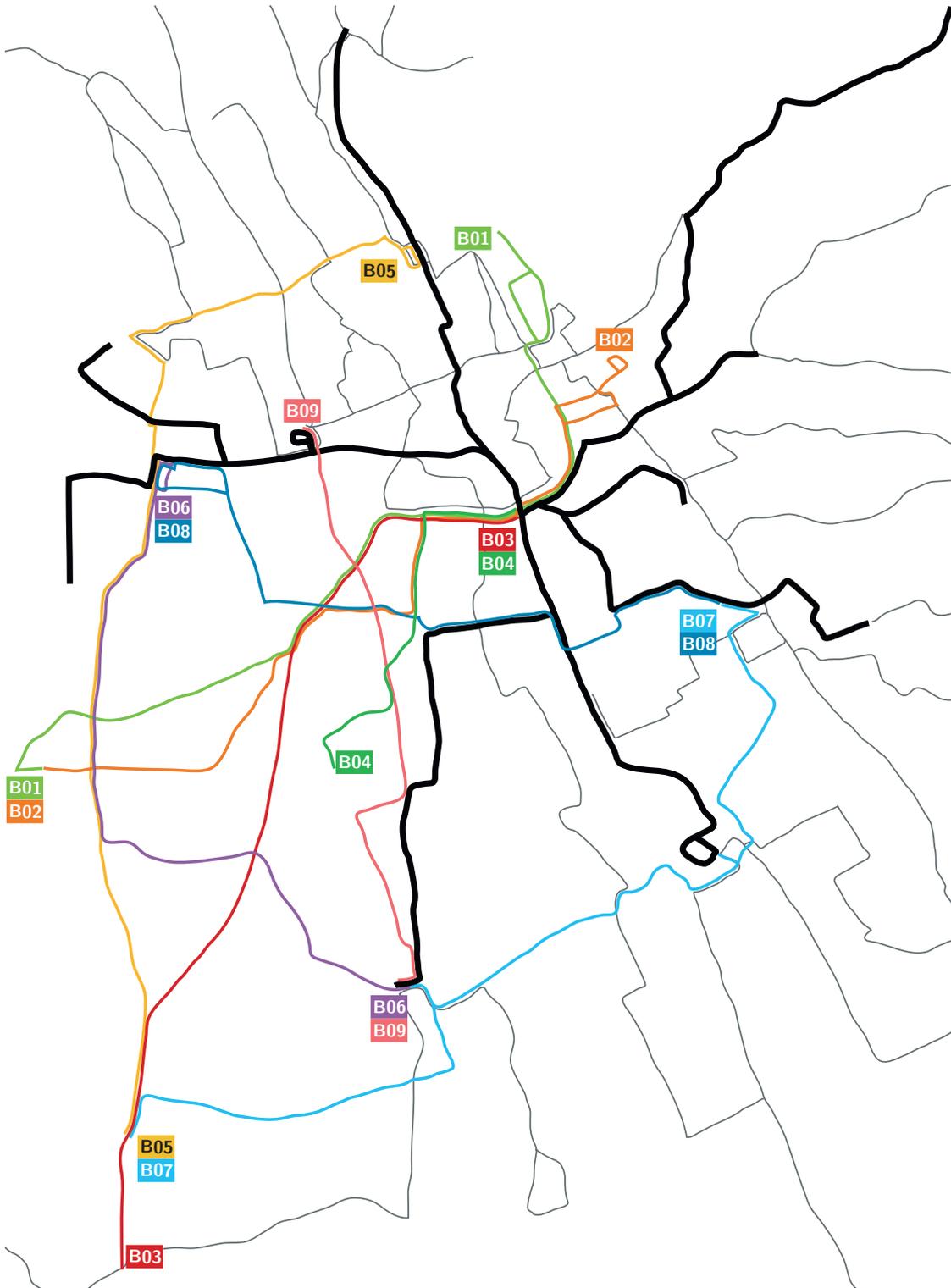


Abbildung 8.9.: Alternativnetz 10.

8. Liniennetzgenerierung

- A03** Grottenhof–Grottenhofstraße–Payer-Weyprecht-Straße–Jakominiplatz–Wirtschaftskammer
- A04** Ankerstraße–Grottenhofstraße–Don Bosco–Citypark–Jakominiplatz–Uni/Resowi
- A05** Seiersberg–Don Bosco–Lissagasse–Jakominiplatz
- A06** Straßgang Süd–Kapellenwirt–Payer-Weyprecht-Straße–Jakominiplatz
- A07** Seiersberg–Peter-Rosegger-Straße–Gemeindeamt Eggenberg–Göstinger Straße/UKH–Fröbelpark–Carnerigasse
- A08** Eggenberger Allee–Peter-Rosegger-Straße–Center West–Puntigam Bahnhof
- A09** Straßgang Süd–Puntigam Bahnhof–Liebenau Murpark–Schulzentrum St. Peter
- A10** Hauptbahnhof–Zentralfriedhof–Puntigam Bahnhof
- A11** Eggenberger Allee–Don Bosco–Citypark–Stadthalle–Schulzentrum St. Peter

Allgemeine Bemerkungen zu allen Varianten Allen Linien wurde zugrunde gelegt, dass die Linie 67 nur im Südast einer Optimierung unterzogen wird. Hierzu wurde der Nordast zum Jakominiplatz gezogen und mit den Bestandsintervallen versehen. Eine Verknüpfung zweier Radialäste über die Haltestelle Wielandgasse, wie dies derzeit der Fall ist, erscheint aus zwei Gründen nicht zielführend: Zum einen enden die Radialäste damit nur eine Haltestelle vor dem Jakominiplatz mit entsprechend negativen Konsequenzen für die Netzwirkung dieser Linie. Zum anderen ist der Umweg für Fahrgäste aus der Karlauer Straße zur Wiener Straße relativ groß und damit wiederum nicht entsprechend attraktiv. Eine Tangentialverbindung dieser Art wird jedoch in den Netzen 2-10d und 2-15 über die Elisabethnergasse hergestellt.

Die Linien 78 und 80 wurden, obwohl sie im Projektgebiet liegen, nicht in die Untersuchung miteinbezogen. Bei ersterer wäre eine Mitberücksichtigung durchaus sinnvoll, doch liegen im Verkehrsmodell keine Daten Stadtgrenzen überschreitender Nachfrage vor, womit sinnvolle Linienführungen nicht untersucht werden können. Bei zweiterer Linie ist die Nachfrage zu gering, um ein 10- oder 15-Minuten-Intervall zu rechtfertigen, weshalb alle von Rudersdorf ausgehenden Strecken äußerst schlechte Bewertungen erhielten. Eine Beibehaltung des Status Quo wurde daher für zielführend erachtet. Dennoch ist es sinnvoll, den derzeit nicht vertakteten Fahrplan der Linie 80 (Intervalle zwischen 20 und 47 Minuten) auf einen einheitlichen 30-Minuten-Takt zu bringen.

Auch die Erschließung der Region Kehlberg wurde nicht untersucht, wiewohl auch in dieses Gebiet Kandidatenlinien gezogen wurden. Wie bei der Linie 80 war auch hier die Nachfrage zu gering, um einen Linienbetrieb zu rechtfertigen. Eine Erschließung, beispielsweise mittels alternativer Bedienformen, erscheint jedoch auch hier im Sinne der in Kapitel 8.1 gemachten Festlegungen zielführend.

Die Reininghausgründe wurden in den algorithmusgestützt erstellten Netzen als nicht erschließenswert bewertet, da dort derzeit keine nennenswerte Besiedlung vorkommt.

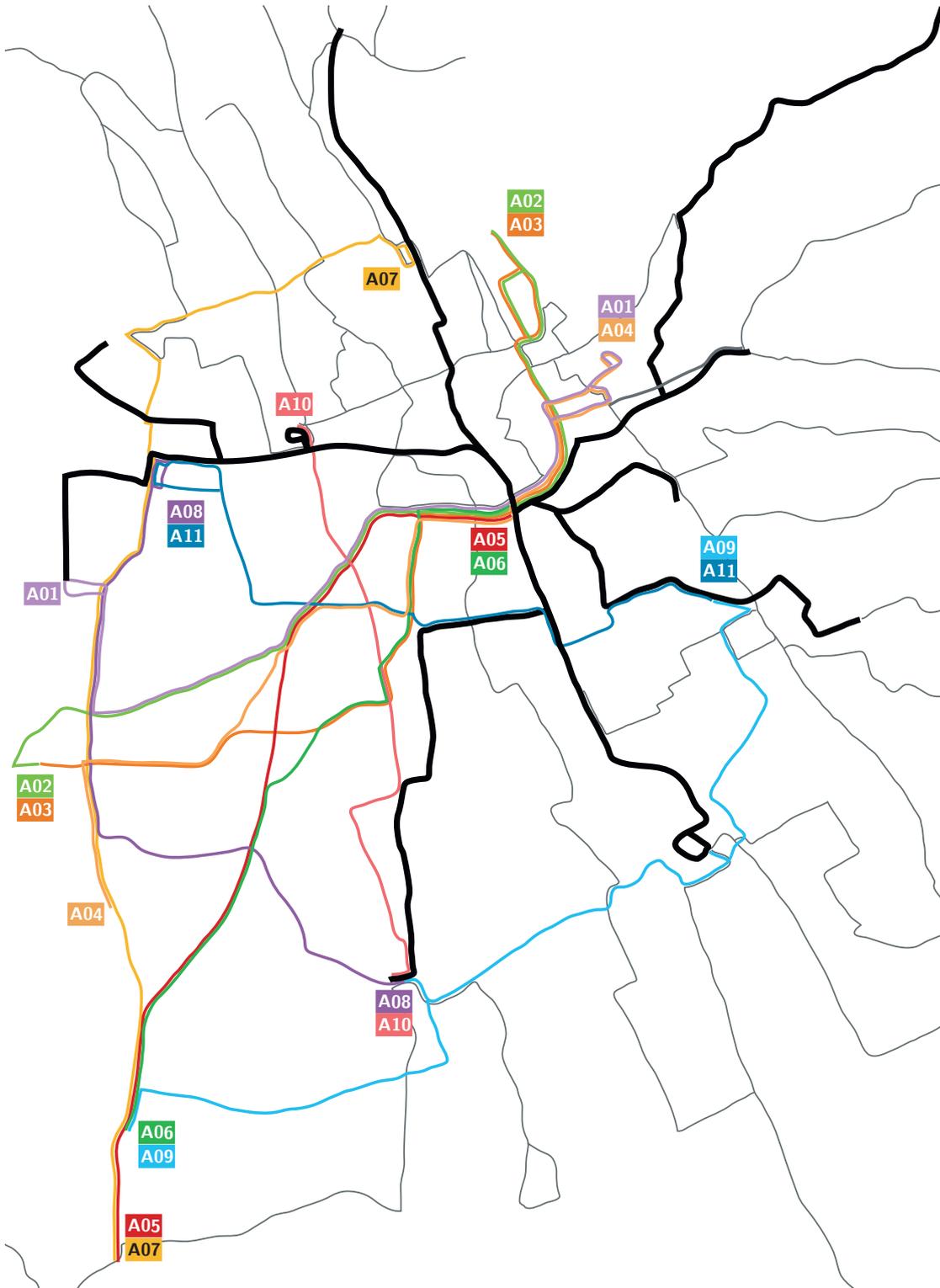


Abbildung 8.10.: Alternativnetz 15.

8. Liniennetzgenerierung

Wenn eine Bebauung dieses Gebietes erfolgt, muss das Liniennetz grundsätzlich neu überarbeitet werden.

Im Gegensatz zum Bestandsliniennetz werden die Haltestellen in der Gaswerkstraße (derzeit Linie 33) und, in den beiden Netzen im 15-Minuten-Takt, die Haltestelle Urnenfriedhof nicht bedient. Erstere befinden sich, bis auf die Haltestelle Wetzelsdorfer Straße, nur maximal 100 Meter von einer im erstellten Netz bedienten Haltestelle entfernt, bei den Haltestellen Urnenfriedhof und Wetzelsdorfer Straße sind es rund 400 Meter. Um die Erreichbarkeit des Urnenfriedhofs zu verbessern, kann an der Kreuzung Kapellenstraße/Alte Poststraße eine Haltestelle eingerichtet werden, womit sich die Distanz zum Eingang Feuerhalle auf rund 200 Meter reduziert.

8.4.2. Bewertung anhand absoluter Kennzahlen

Für die Bewertung der Szenarien wurden die in Kapitel 4 vorgestellten und in Kapitel 7.7.1 präzisierten Kennzahlen herangezogen. Dabei wurde einerseits eine Kennzahlenmatrix je Kriterium erstellt und einer Gewichtung unterzogen und andererseits direkt in VISUM Vergleiche der korridorbezogenen Kennzahlen durchgeführt. Die Reihung der Varianten wurde einmal über die Rangsumme der einzelnen Kriterien (Tabelle 8.5 und einmal über den Mittelwert der prozentuellen Verbesserungen gegenüber dem Bestandsnetz (Tabelle 8.6) vorgenommen.

Absolute Zahlen	DOC	Intervallqualität	Umsteigehäufigkeit	mitt. UH Planungsgebiet	mitt. Reisezeit	mitt. Reisezeit Planungsgebiet	mitt. Reiseite	mitt. Empf. Reisezeit	Reisezeitnachteil	Rangsumme	Rang
Netz 0	3,41	0,19	0,61	0,61	24,10	25,06	4,50	37,47	2,37	64	9
Vergleichsnetz 0	3,40	0,20	0,62	0,61	24,08	24,98	4,41	37,22	2,35	58	8
Alternativnetz 15	2,48	0,20	0,59	0,58	23,59	24,39	4,36	37,02	2,33	34	3
Alternativnetz 10	2,54	0,20	0,61	0,59	23,96	25,22	4,40	37,71	2,37	56	7
Netz 2-10a	2,42	0,21	0,66	0,66	23,60	24,42	4,42	37,01	2,26	49	6
Netz 2-10b	2,42	0,21	0,62	0,63	23,61	24,19	4,40	36,96	2,21	37	4
Netz 2-10c	2,42	0,21	0,64	0,66	23,50	24,17	4,41	37,05	2,39	46	5
Netz 2-10d	2,40	0,21	0,65	0,62	23,38	24,05	4,42	36,65	2,24	32	2
Netz 2-15	2,39	0,21	0,62	0,60	23,54	24,13	4,37	37,01	2,25	28	1

Tabelle 8.5.: Bewertung der Varianten in absoluten Kennzahlen. Bei der Umsteigehäufigkeit stellen niedrige Werte eine bessere Lösung dar, bei allen anderen Kennzahlen höhere.

Abweichung vom Bestand	DOC	Intervallqualität	Umsteigehäufigkeit	mitt. UH Planungsgebiet	mitt. Reisezeit	mitt. Reisezeit Planungsgebiet	mitt. Reiseite	mitt. Empf. Reisezeit	Reisezeitnachteil	Durchschn. Abweichung	Rang
Netz 0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	9
Vergleichsnetz 0	0,98	1,07	0,98	0,99	1,00	1,00	1,02	1,01	1,01	1,01	8
Alternativnetz 15	1,37	1,07	1,04	1,05	1,02	1,03	1,03	1,01	1,01	1,07	2
Alternativnetz 10	1,34	1,07	1,00	1,04	1,01	0,99	1,02	0,99	1,00	1,05	6
Netz 2-10a	1,41	1,12	0,93	0,93	1,02	1,03	1,02	1,01	1,05	1,06	5
Netz 2-10b	1,41	1,11	0,98	0,97	1,02	1,04	1,02	1,01	1,06	1,07	2
Netz 2-10c	1,41	1,12	0,95	0,93	1,03	1,04	1,02	1,01	0,99	1,05	6
Netz 2-10d	1,42	1,11	0,94	0,99	1,03	1,04	1,02	1,02	1,06	1,07	2
Netz 2-15	1,42	1,10	0,98	1,02	1,02	1,04	1,03	1,01	1,05	1,08	1

Tabelle 8.6.: Bewertung der Varianten in Abweichung vom Bestand. Ein Wert über 1,00 stellt (auch bei der Umsteigehäufigkeit) eine Verbesserung dar.

Wie im Vergleich erkenntlich ist, ist die Subvariante 2-10d unter den vier Mutationen des Szenarios 2-10 am besten bewertet. Im Vergleich der Bewertungsverfahren zeigt sich, dass der erste, der vierte und die letzten drei Ränge gleich bleiben, jedoch die Ränge 2 und 3 sowie 5 und 6 in jeweils umgekehrter Reihenfolge vorkommen.

Die Netze 2-15, 2-10d und das Alternativnetz 15 können daher für eine weitere Bewertung verwendet werden.

Das zur Plausibilitätskontrolle eingerichtete Vergleichsnetz 0 weist durchgehend Kennzahlen auf, die sich nur wenig vom Netz 0 unterscheiden, weshalb von einer guten Übereinstimmung der Modelllinien mit den im Modell hinterlegten ausgegangen werden kann.

Im Detail zeigt sich, dass nicht alle Werte große Streuungen aufweisen. Die Umsteigehäufigkeit und die Intervallqualität variieren nur wenig, während der *Degree of Circuity*, welcher ein Maß für den Umweg darstellt, um 40 % schwankt. Interessant ist ein Vergleich der absoluten Werte, insbesondere der mittleren Reisezeit im Planungsgebiet. Diese sinkt im Planungsgebiet bei den Varianten 2-10d und 2-15 um fast eine Minute, was insbesondere für einen Durchschnittswert eine sehr große Zeitersparnis darstellt. Dem entsprechend kann auch der Reisezeitnachteil des ÖPNV um acht Prozent von 2,37 auf 2,24 gesenkt werden (siehe Abbildung 8.4.2).

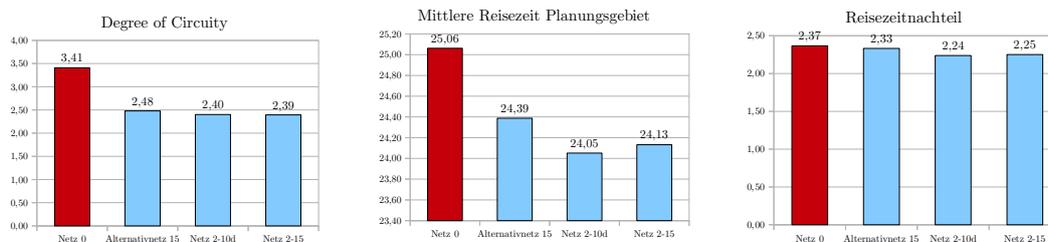


Abbildung 8.11.: *Degree of Circuity*, mittlere Reisezeit im Planungsgebiet und Reisezeitnachteil im Untersuchungsgebiet der besten drei Szenarien.

8.4.3. Sensitivitätsanalyse

Die Gewichtung der genannten Kennzahlen ist per se willkürlich, im genannten Fall wurde jeder Kennwert gleich stark bewertet. Im Falle eines Bürgerbeteiligungsverfahrens ist ein wichtiger Ansatz, die Gewichtung der Kennzahlen durch Partizipation zu erarbeiten und dann festzulegen.

Für eine Aussage über die Stabilität des Ergebnisses auch bei einer Variation der Gewichtung wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, in welcher jeder Wert testweise soweit auf- und abgewertet, wurde, bis sich die Reihenfolge änderte. Diese Analyse wurde nur mit den relativen Abweichungen vom Bestand durchgeführt, da eine Gewichtung ordinalskalierten Daten wie der Ränge nicht sinnvoll ist. Zusätzlich wurde ermittelt, ob es eine Gewichtung gibt, in welcher das Bestands- oder das Vergleichsnetz den besten drei Netzen angehören würden. Letzteres war nur möglich, wenn die Umsteigehäufigkeit im

8. Liniennetzgenerierung

Untersuchungsgebiet (nicht jedoch im Planungsgebiet) um das 41,2-fache übergewichtet würde, jedoch mit keiner anderen Kennzahl.

Für die weiteren Kennzahlen wurde der Spielraum für die Gewichtung ermittelt, in welchem

1. Das Netz 2-15 auf Rang 1 bleibt
2. Die Netze 2-10d und 2-15 in beliebiger Reihenfolge die ersten beiden Ränge besetzen
3. Die Netze 2-10d, 2-15 und das Alternativnetz 15 in beliebiger Reihenfolge die ersten drei Ränge belegen (siehe Abbildung 8.12).

Damit soll eine Aussage gemacht werden, welche Gewichtung möglich ist, ohne die ersten drei Ränge nach hinten zu reihen. Die interessantesten Ergebnisse hierzu sind:

1. Der sensibelste Wert ist die mittlere Umsteigehäufigkeit im Planungsgebiet. Diese kann nur in sehr engen Grenzen umgewichtet werden, ohne das Ergebnis zu ändern. Dies liegt daran, dass dieser Wert der einzige ist, in welchem das Bestandsnetz einen vergleichsweise guten Wert erreicht und die Streuung der Werte sehr klein ist.
2. Die mittlere Reisezeit im Untersuchungs- und im Planungsgebiet können beliebig gewichtet werden, ohne die Reihenfolge zu beeinflussen (nur das Netz 2-15 und das Alternativnetz 15 werden auf Rang 2 und 3 umgereiht). Daraus ergibt sich, dass eine Höherbewertung der Reisezeit, wie sie in einem Bürgerbeteiligungsverfahren zu erwarten wäre, das Ergebnis gleich stabil belässt.
3. Der *Degree of Circuity*, die Intervallqualität, die mittlere empfundene Reisezeit und der Reisezeitnachteil haben ebenfalls unabhängig von ihrer Gewichtung denselben Einfluss auf das Ergebnis.

Daraus lässt sich als Konklusio schließen, dass die Netze 2-10d, 2-15 und das Alternativnetz 15 auch bei einer Umgewichtung die ersten drei Ränge besetzen, sofern nicht die Umsteigehäufigkeit massiv überbewertet wird.

8.4.4. Bewertung anhand relativer Kennzahlen

Zum vertieften Vergleich der Szenarien wurden bei den drei ausgewählten Netzen drei weitere Bewertungen durchgeführt:

1. Reisezeitvergleich mit dem Bestandsnetz im Planungsgebiet sowie aus dem Planungsgebiet zu wichtigen Punkten
2. Vergleich der Bedienungshäufigkeit netzweit je Korridor auf Radialverbindungen ins Zentrum, Radialverbindungen zum Hauptbahnhof und Tangentialverbindungen
3. Umsteigehäufigkeit netzweit auf Tangentialverbindungen

Die Umsteigehäufigkeit auf Radialverbindungen wurde keiner erweiterten Bewertung unterzogen, da sich bei der Bewertung zeigte, dass sie sich auf radialen Relationen nicht ändert.

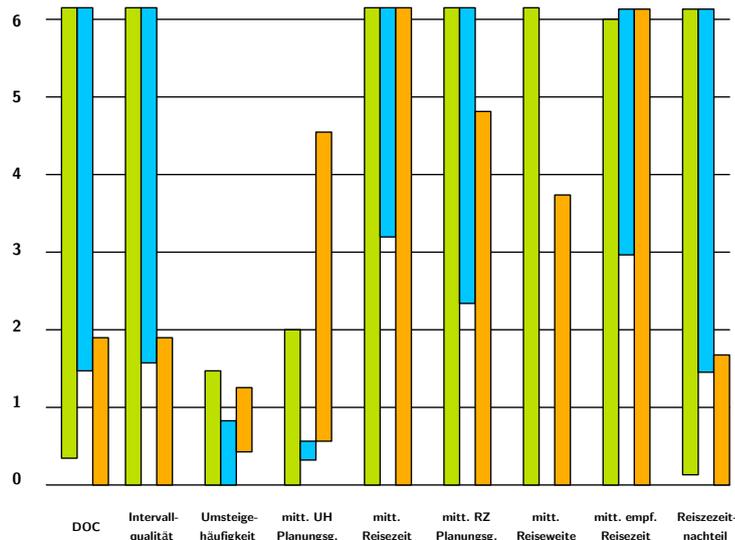


Abbildung 8.12.: Schwankungsbreiten für die Gewichtung der einzelnen Kennzahlen.
Erklärung:

Netz 2-15 am ersten Rang ; Netz 2-10d und 2-15 auf den ersten beiden Rängen ,
Netz 2-10d, 2-15 und Alternativnetz 15 auf den ersten drei Rängen

Reisezeitvergleich Für diesen Vergleich wurden zunächst die in Kapitel 8.2.3 definierten Zentren als zusätzliche Verkehrszellen mit Anbindungen an die dazugehörigen Haltestellen eingerichtet. Dann wurde im Rahmen einer Umlegung eine Reihe von Kennzahlenmatrizen erstellt, aus welchen die Reisezeit ausgewählt und mit jener des Netzes 0 verglichen wurde. Um eine aussagekräftige Grafik zu erhalten, musste diese jedoch zwischen den Richtungen gemittelt werden (halbierte Matrixwerte und Anzeige von Querschnittswerten), da die Reisezeitunterschiede aufgrund der unterschiedlichen Haltestellenanbindungen je Richtung teilweise deutlich unterschiedlich waren. Diese Vorgehensweise, die per se eher unsauber ist, wurde jedoch stichprobenartig überprüft und erwies sich als brauchbar.

Vergleicht man die Reisezeiten (siehe Abbildungen 8.13, 8.14 und 8.15), fällt auf, dass bei allen drei Szenarien die Verbindungen ins Zentrum deutliche Reisezeitverbesserungen erfahren. Dies ist zum großen Teil den in allen Varianten erfolgten Durchbindungen aus Don Bosco Richtung Uni/Resowi und Wirtschaftskammer geschuldet, aber auch den stadtnahen Tangentiallinien über Elisabethinergasse und Volksgartenstraße in den Varianten 2-10d und 2-15. Alle Varianten weisen deutliche Verschlechterungen der Verbindungen vom Center West Richtung Liebenau, St. Peter und Thondorf auf, was daran liegt, dass in keiner dieser Varianten die derzeit bestehende Durchbindung der Linie 64 in Puntigam erfolgt.

Aus dem Vergleich der Reisezeiten geht das Netz 2-10d als das beste hervor, das Alternativnetz 15 jedoch weist etwa gleich viele Verschlechterungen wie Verbesserungen auf, weshalb aus Sicht eines Reisezeitvergleichs für diese Variante keine Empfehlung ausgesprochen werden kann.

8. Liniennetzgenerierung

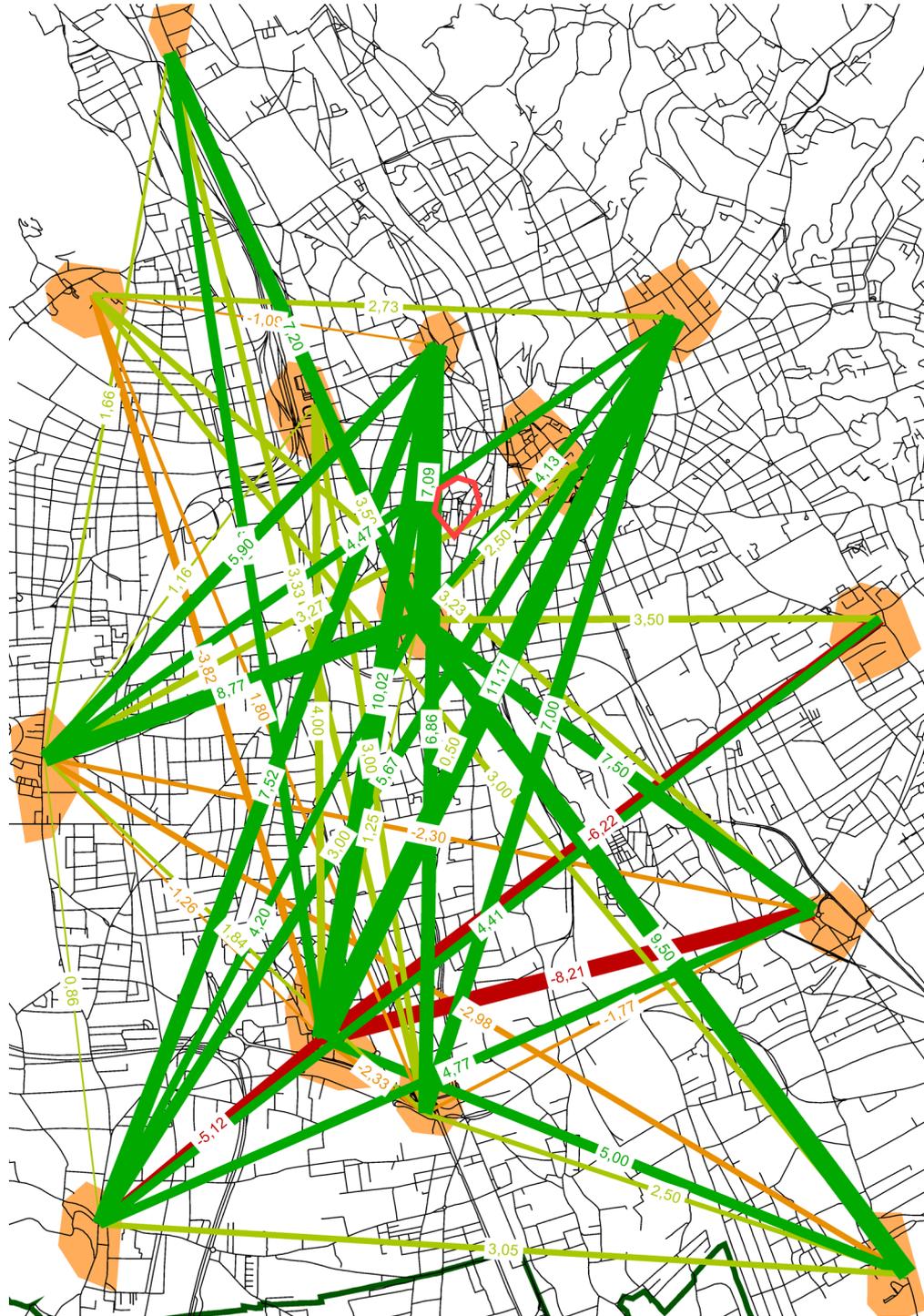


Abbildung 8.13.: Reisezeitveränderungen zu wichtigen Zielen, Netz 0 zu Netz 2-10d; positive Werte bedeuten eine Reisezeitverkürzung, negative Werte eine Verlängerung gegenüber dem Bestand.

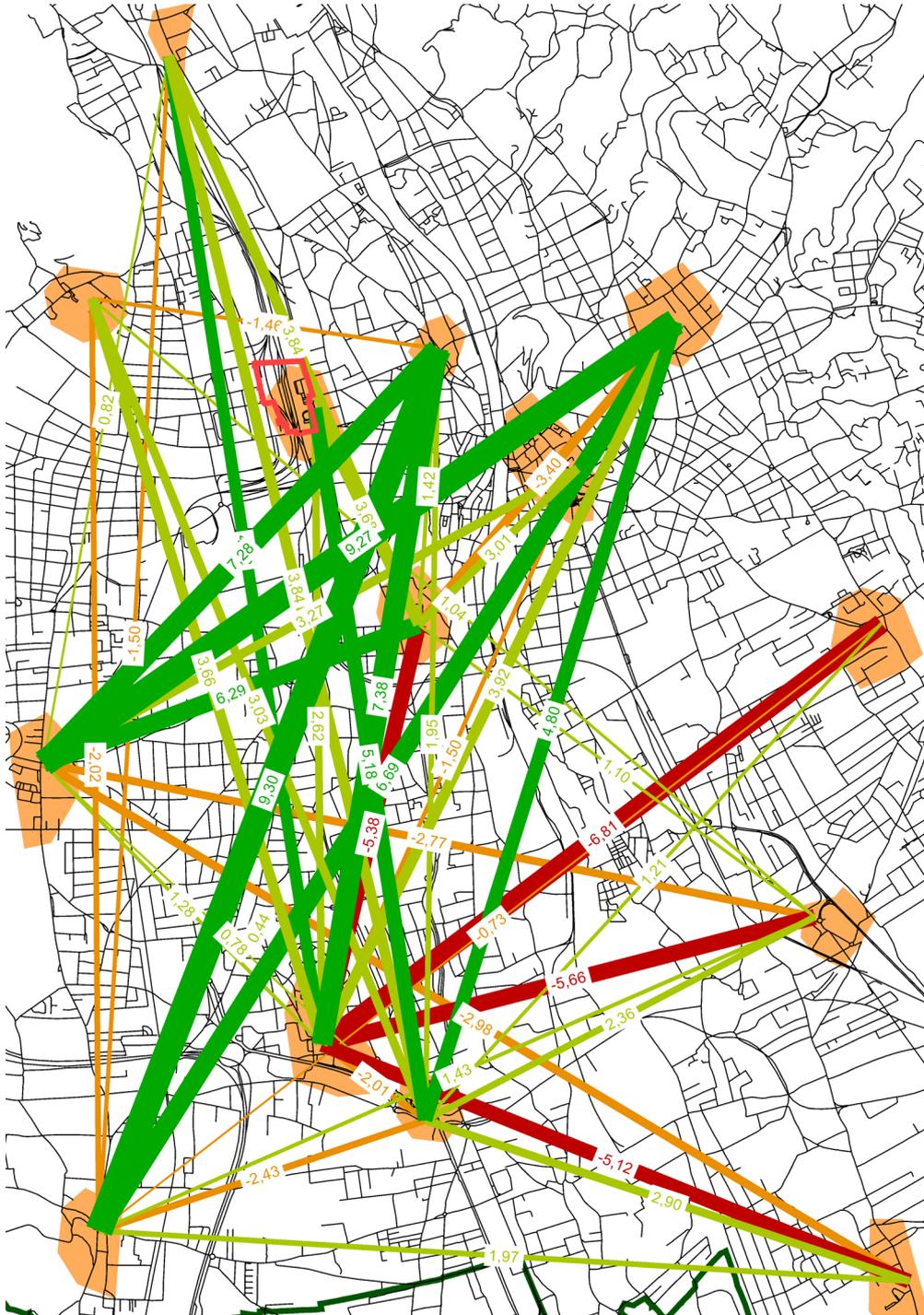


Abbildung 8.14.: Reisezeitveränderungen zu wichtigen Zielen, Netz 0 zu Netz 2-15; positive Werte bedeuten eine Reisezeitverkürzung, negative Werte eine Verlängerung gegenüber dem Bestand.

8. Liniennetzgenerierung

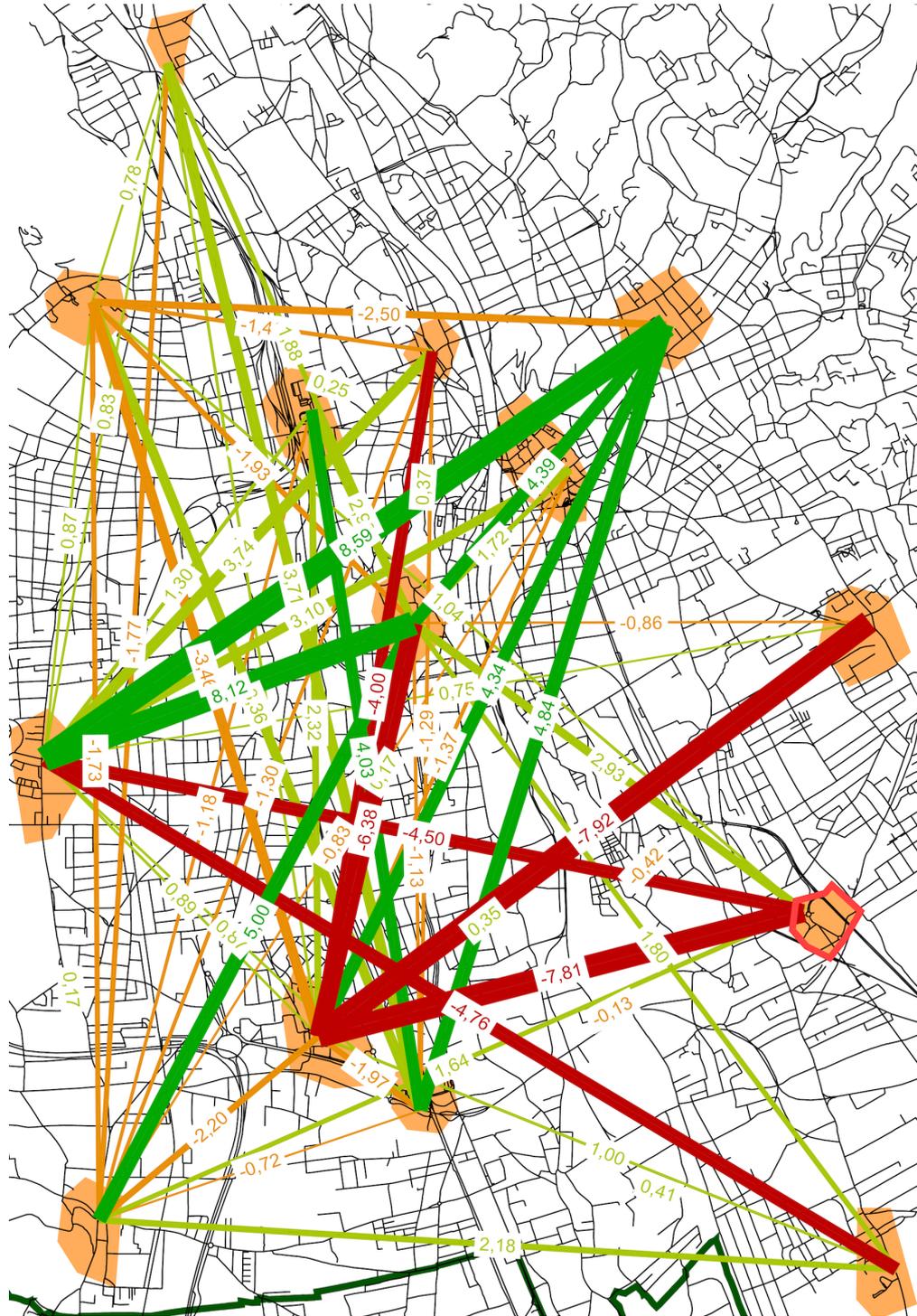


Abbildung 8.15.: Reisezeitveränderungen zu wichtigen Zielen, Netz 0 zu Alternativnetz 15; positive Werte bedeuten eine Reisezeitverkürzung, negative Werte eine Verlängerung gegenüber dem Bestand.

Bedienungshäufigkeit Auf Basis der eingerichteten Zentren wurde weiters die Bedienungshäufigkeit je Relation untersucht. Dazu wurden, wie in Kapitel 8.2.3 beschrieben, Radialverbindungen ins Zentrum und zum Hauptbahnhof sowie Tangentialverbindungen bewertet. Auch die Bedienungshäufigkeit wurde durch Mittelung der beiden Richtungen errechnet⁸. Einschränkend muss angemerkt werden, dass eine Bewertung der Bedienungshäufigkeit nach dieser Methode nur relative Aussagekraft hat, Absolutwerte jedoch erst nach Erstellung eines Fahrplans Gültigkeit haben.

Betrachtet man die Bedienungshäufigkeiten der Radialverbindungen ins Zentrum (siehe Abbildungen 8.16, 8.17 und 8.18) ergeben sich in den Netzen 2-10d und 2-15 deutliche Verbesserungen auf den Verbindungen in das Planungsgebiet. Im Alternativnetz 15 ergibt sich sogar teils eine Verschlechterung dieser Verbindungen. Bemerkenswert ist, dass sich bei den beiden Netzen im 15-Minuten-Takt eine Verbesserung der Bedienungsqualität auch Richtung St. Leonhard und Mariagrün ergibt. Dies jedoch ist der verdichteten Bedienung der Äste zur Wirtschaftskammer und zur Uni/Resowi geschuldet, die nur die Umsteigeverbindungen auf diesen Relationen verbessern. Die scheinbare Verschlechterung der Äste Richtung Nordwesten muss relativiert werden, da sie sich aus einem Wegfall ebensolcher Umsteigeverbindungen ergeben.

Dennoch kann aus diesem Bewertungsschritt eine Empfehlung für die Netze 2-10d und 2-15 abgegeben werden, da beide eine Verbesserung der Verbindung nach Wetzelsdorf, Puntigam und Straßgang bedeuten.

Die Bedienungshäufigkeiten auf Radialverbindungen zum Hauptbahnhof ändern sich nicht wesentlich (siehe Abbildungen 8.19, 8.20 und 8.21). Die Verbesserung der Bedienungshäufigkeit zwischen Hauptbahnhof und Gösting in den Netzen 2-10d und 2-15 ist als Artefakt zu betrachten, das sich aus einer Umsteige Verbindung über den Citypark ergibt, und ist demnach nicht aussagekräftig. Die tatsächlich relevanten Verbesserungen gegenüber dem Netz 0 ergeben sich in den Netzen 2-10d und 2-15: Zunächst ergibt sich eine Verdichtung zwischen Hauptbahnhof und dem Zentrum Wetzelsdorf in beiden Netzen, weiters eine verbesserte Anbindung des Center West im Netz 2-15. Im Netz 2-10 ergibt sich weiters eine Verdichtung zwischen Hauptbahnhof und Puntigam, im Alternativnetz 15 eine Verschlechterung Richtung Center West. Es ergibt sich aus diesem Schritt demnach kein bestbewertetes Netz, das Alternativnetz 15 kann jedoch mit keinen Verbesserungen gegenüber dem Nullfall aufwarten.

Bei Betrachtung der Bedienungshäufigkeiten auf den Tangentialverbindungen (siehe Abbildungen 8.22, 8.23 und 8.24) zeigt sich, dass alle drei Varianten eine Verbesserung gegenüber dem Bestand bringen. Insbesondere zwischen Puntigam und Eggenberg manifestiert sich diese Verbesserung. Wiederum zeigen sich in zwei Netzen (Netz 2-15 und Alternativnetz 15) Verschlechterungen vom Center West nach Osten. Aus Sicht der Bedienungshäufigkeit auf Tangentialverbindungen ist demnach das Netz 2-10d als das beste zu bewerten.

⁸Die Bedienungshäufigkeit erscheint auf einigen Relationen auf den ersten Blick zu hoch. Dies ergibt sich jedoch daraus, dass bei der Errechnung alle innerhalb des Untersuchungszeitraums verwendbaren Verbindungen gezählt werden. Eine Änderung dieser Rechnung ist prinzipbedingt jedoch nicht möglich, da ansonsten auf Relationen, die nur durch Umsteigeverbindungen mit vergleichsweise schlechter Reisezeit bedient werden, kein Wert zustande kommt.

8. Liniennetzgenerierung



Abbildung 8.16.: Vergleich der Bedienungshäufigkeit auf Radialverbindungen ins Zentrum, Netz 0 mit Netz 2-10d.

8. Liniennetzgenerierung

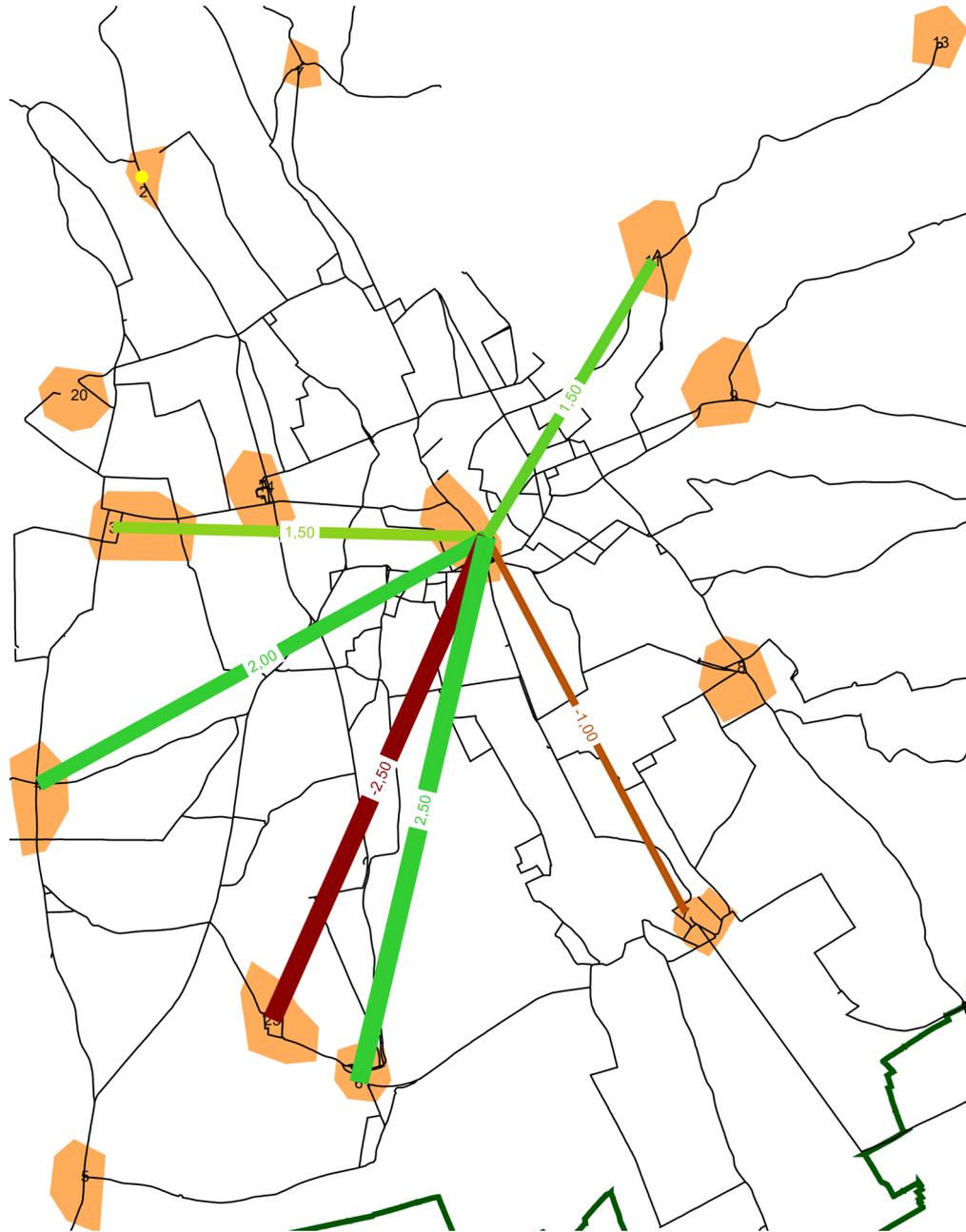


Abbildung 8.18.: Vergleich der Bedienungshäufigkeit auf Radialverbindung ins Zentrum, Netz 0 mit Alternativnetz 15.

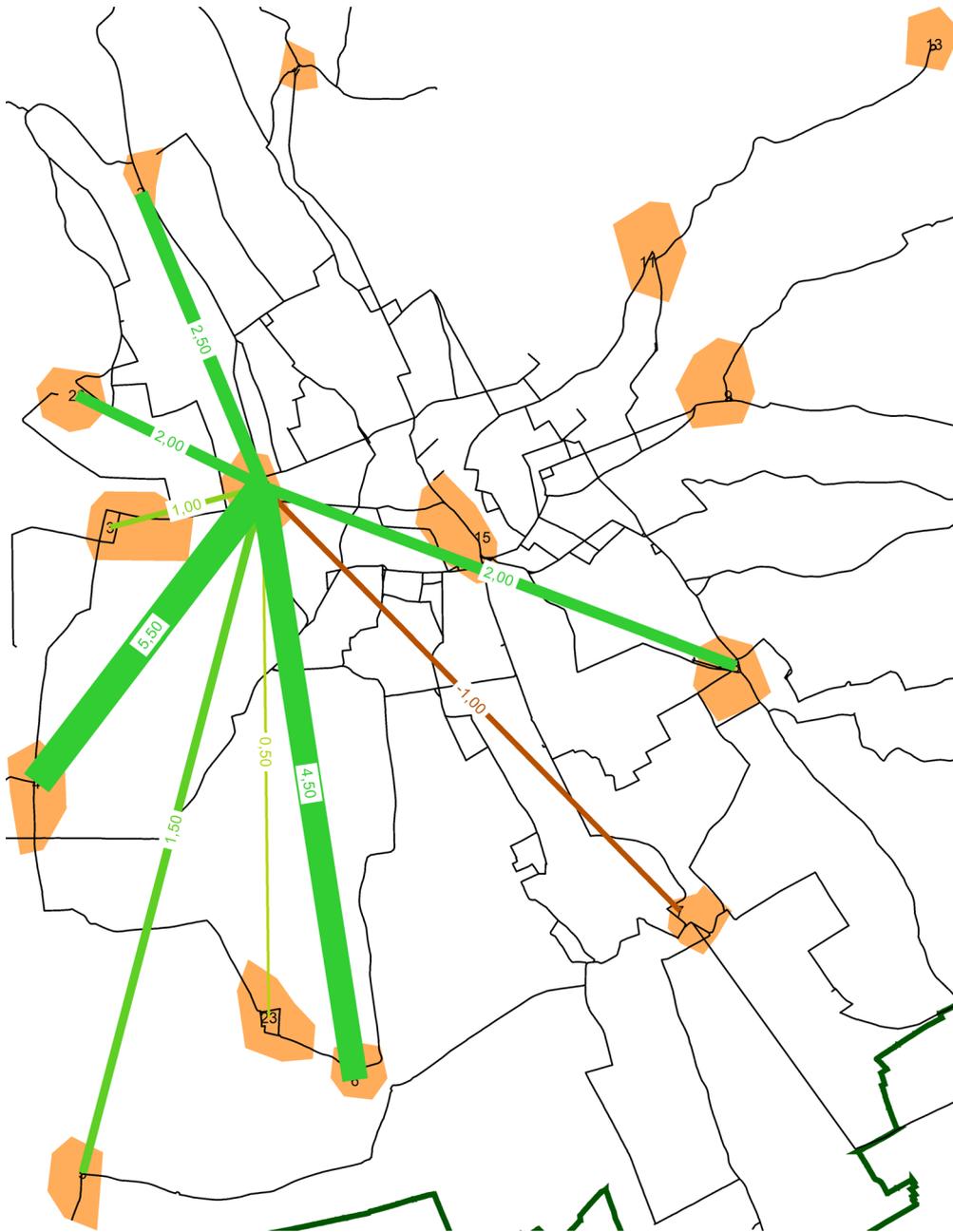


Abbildung 8.19.: Vergleich der Bedienungshäufigkeit auf Radialverbindungen zum Hauptbahnhof, Netz 0 und Netz 2-10d.

8. Liniennetzgenerierung



Abbildung 8.20.: Vergleich der Bedienungshäufigkeit auf Radialverbindungen zum Hauptbahnhof, Netz 0 und Netz 2-15.



Abbildung 8.21.: Vergleich der Bedienungshäufigkeit auf Radialverbindungen zum Hauptbahnhof, Netz 0 und Alternativnetz 15.

8. Liniennetzgenerierung

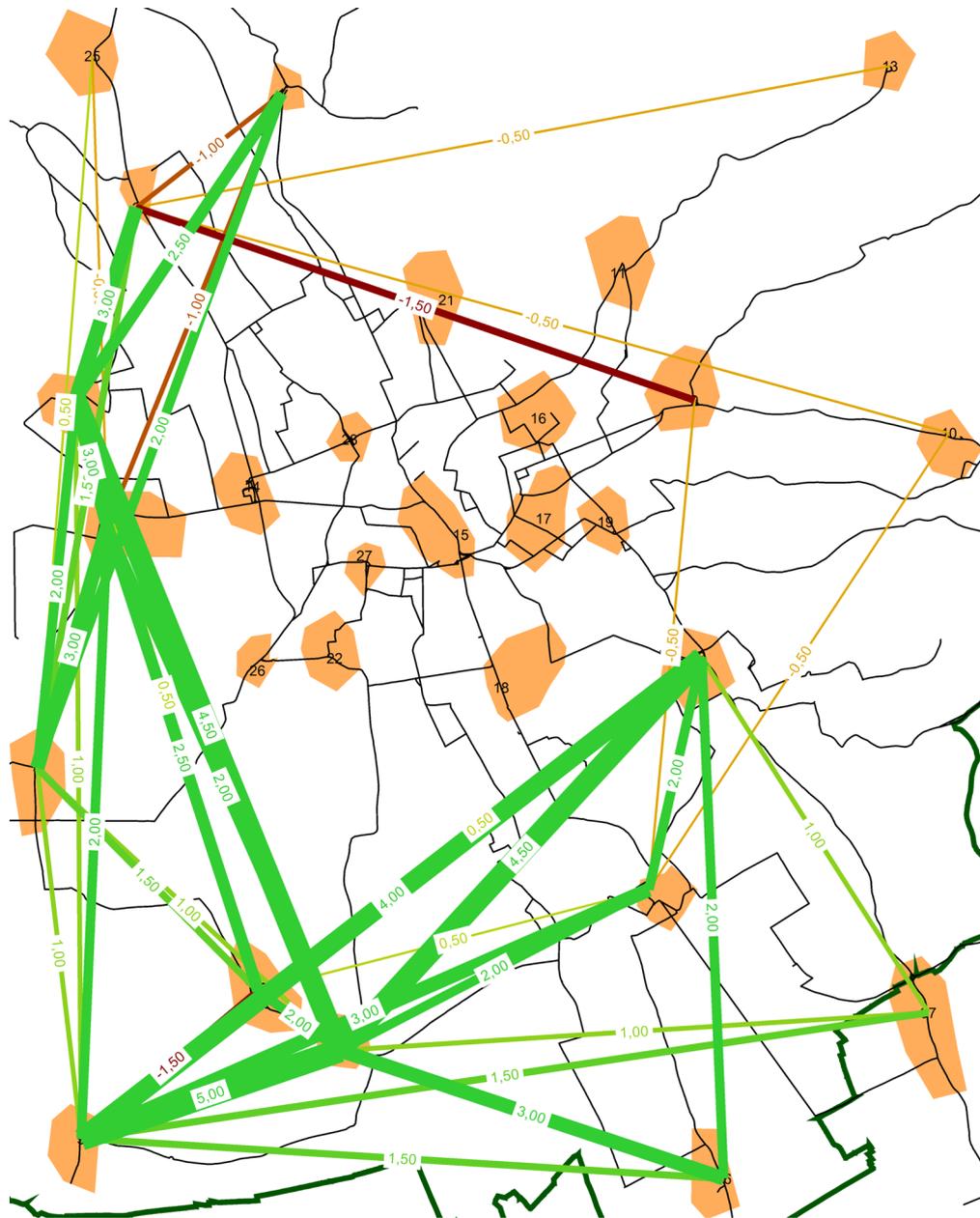


Abbildung 8.22.: Vergleich der Bedienungshäufigkeit auf Tangentialverbindungen, Netz 0 und Netz 2-10d.

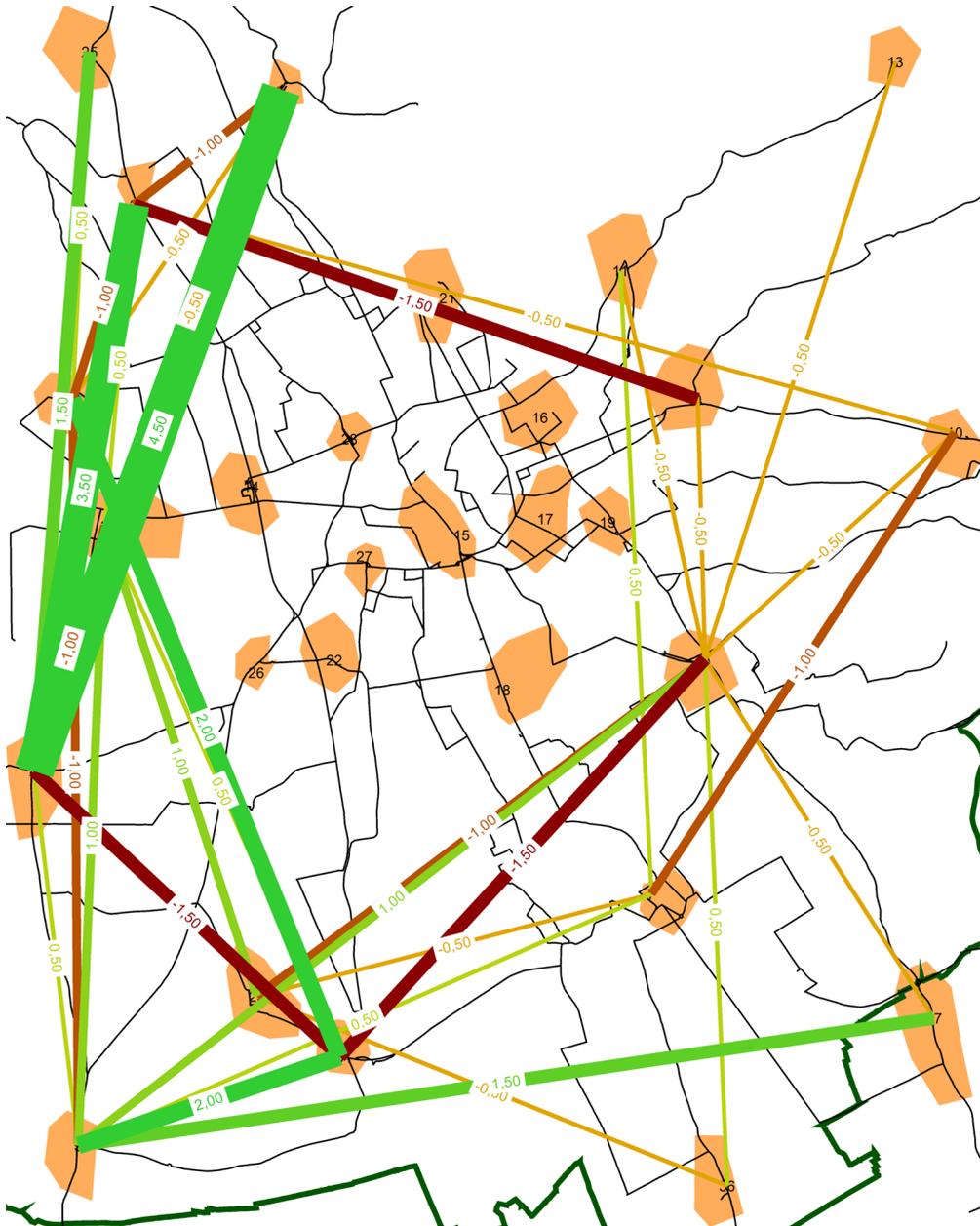


Abbildung 8.23.: Vergleich der Bedienungshäufigkeit auf Tangentialverbindungen, Netz 0 und Netz 2-15.

8. Liniennetzgenerierung

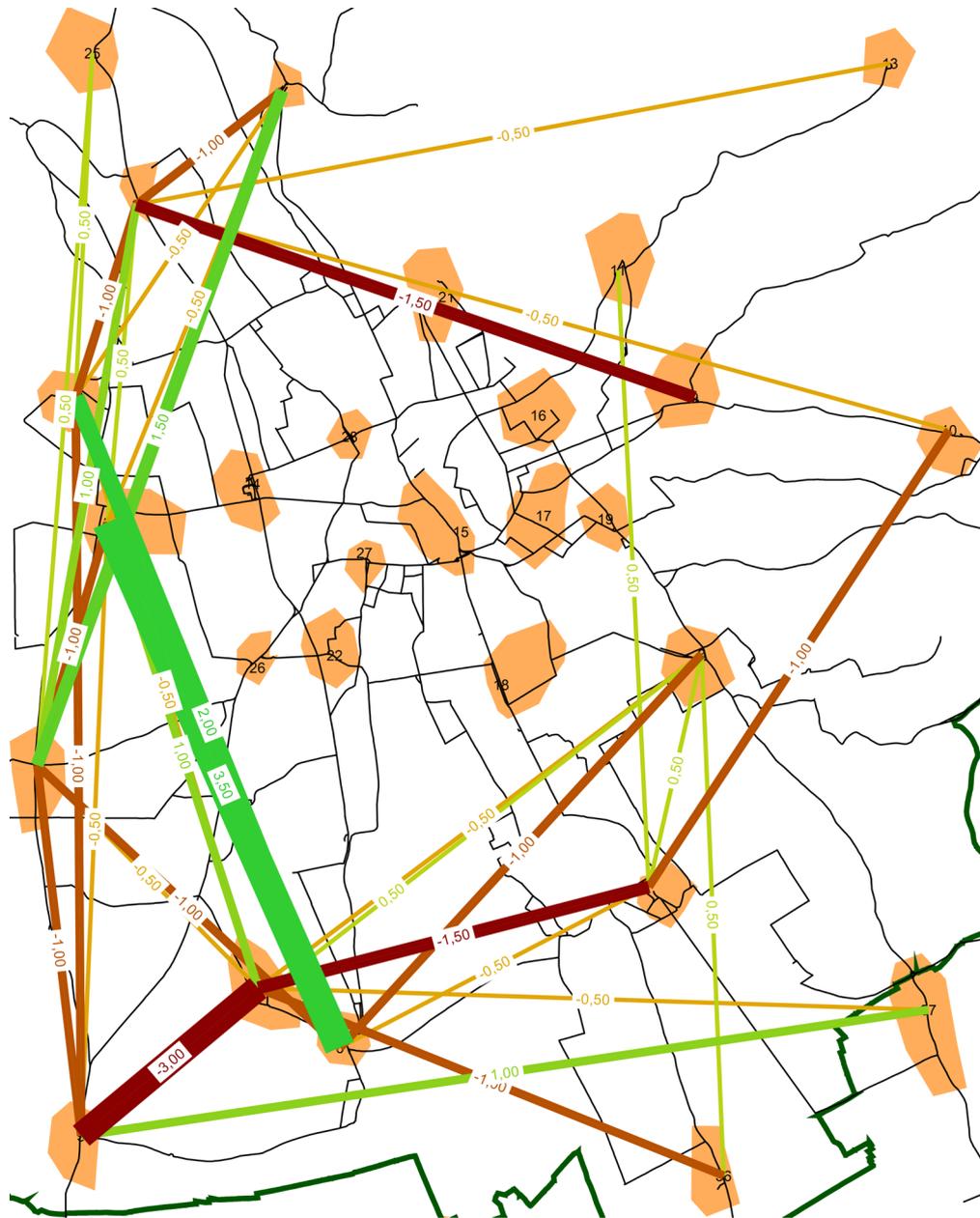


Abbildung 8.24.: Vergleich der Bedienungshäufigkeit auf Tangentialverbindungen, Netz 0 und Alternativnetz 15.

Umsteigehäufigkeit Betrachtet man schlussendlich die Umsteigehäufigkeit auf Tangentialverbindungen (siehe Abbildungen 8.25, 8.26 und 8.27), ergibt sich ein einheitliches Bild bei allen drei Netzen: alle weisen Verschlechterungen der Umsteigesituation vom Center West nach Osten und Verbesserungen von Straßgang nach Osten auf, was an der in diesem Bereich identischen Linienstruktur in allen drei Netzen liegt. Die größere Verschlechterung im Netz 2-10d gegenüber den anderen beiden Netzen liegt in der Anschlusssituation in Puntigam, die sich aus den starr zugewiesenen Intervallen ergibt.

Somit kann aus Sicht der Umsteigehäufigkeit keine Empfehlung für eines der drei Netze gegeben werden.

Zusammenfassung Aus der Bewertung nach relativen Kriterien geht das Netz 2-10d als das beste, das Netz 2-15 als das zweitbeste hervor. Das Alternativnetz 15 weist eine im Vergleich besonders schlechte Bewertung auf, weshalb es aus Sicht der relativen Kennzahlen nicht weiter verfolgenswert erscheint.

8.4.5. Zusammenfassung der Bewertung

Nach Betrachtung der einzelnen Bewertungsschritte muss versucht werden, eine Bewertungsmöglichkeit zu finden, die eine klare Aussage über ein ‚bestes‘ Netz erlaubt. Die Bewertung der Linien erfolgte bislang einerseits über absolute und andererseits über korridorbezogene Kennzahlen. Während die absoluten Kennzahlen durch ihre absolute Objektivität bestechen, weisen die relativen Kennzahlen eine hohe Anschaulichkeit auf. Erstere sind zudem nur auf ein Gebiet (Planungs- bzw. Untersuchungsgebiet) als Ganzes bezogen, während bei zweiteren auch örtliche ‚Ausreißer‘ bemerkt werden können. Der Nachteil bei relativen Kennzahlen ist wiederum, dass sie weder gewichtet noch summiert werden können und damit eine subjektive Bewertung erfolgen muss. Die Situation der drei Varianten stellt sich nach den zwei Bewertungsschritten folgendermaßen dar:

Tabelle 8.7.: Einzelbewertungen der drei ausgewählten Szenarien

Name	Rang absolute Kennz.	Rang relative Kennz.
Netz 2-10d	2	1
Netz 2-15	1	2
Alternativnetz 15	2	3

Damit kann aus Sicht einer Gesamtbetrachtung zumindest die Aussage getätigt werden, dass das Alternativnetz 15 gegenüber den anderen beiden Netzen deutlich abfällt und somit nur die beiden algorithmusgestützt erstellten Liniennetze verfolgenswert erscheinen.

Eine eindeutige Aussage, welches dieser beiden Liniennetze ‚besser‘ ist, kann hier nicht getätigt werden. Insbesondere hängt dies davon ab, welche hier erhobenen Parameter als wichtiger erachtet werden: Eine Betrachtung der absoluten Kennzahlen ergibt die durchschnittliche Nützlichkeit je Fahrgast und stellt ein mess- und überprüfbares Ergebnis dar. Die relativen Kennzahlen hingegen erlauben es, die Einhaltung von Vorgaben aus einem Nahverkehrsplan zu überprüfen bzw. auch deren Übererfüllung zu honorieren.

8. *Liniennetzgenerierung*

Für eine Gewichtung empfiehlt sich, wie im Kapitel 8.4.2 erwähnt, der Prozess der Bürgerbeteiligung, wenn ein solcher Vorschlag tatsächlich umgesetzt wird. Wenn in diesem eine Gewichtung einzelner Kennzahlen erarbeitet wird, besteht für weitere Schritte Planungssicherheit, welche bei einer Gewichtung ausschließlich aus fachlicher Sicht nicht gegeben wäre.

Eine exakte Reihung zwischen diesen beiden Netzen kann weiters nur erfolgen, wenn für beide ein Fahrplan erstellt wurde, welcher auch abgestimmte Umsteigeverbindungen zulässt. Wenn ein solcher Fahrplan für beide Netze erstellt wurde, können auch Aussagen über die Bedienungshäufigkeit, die genaue Reisezeit, die Umsteigezeit etc. gemacht werden und so das tatsächlich bessere Netz ermittelt werden. Aus den hier ermittelten Kennzahlen ist jedoch zu erwarten, dass die Unterschiede minimal ausfallen würden.

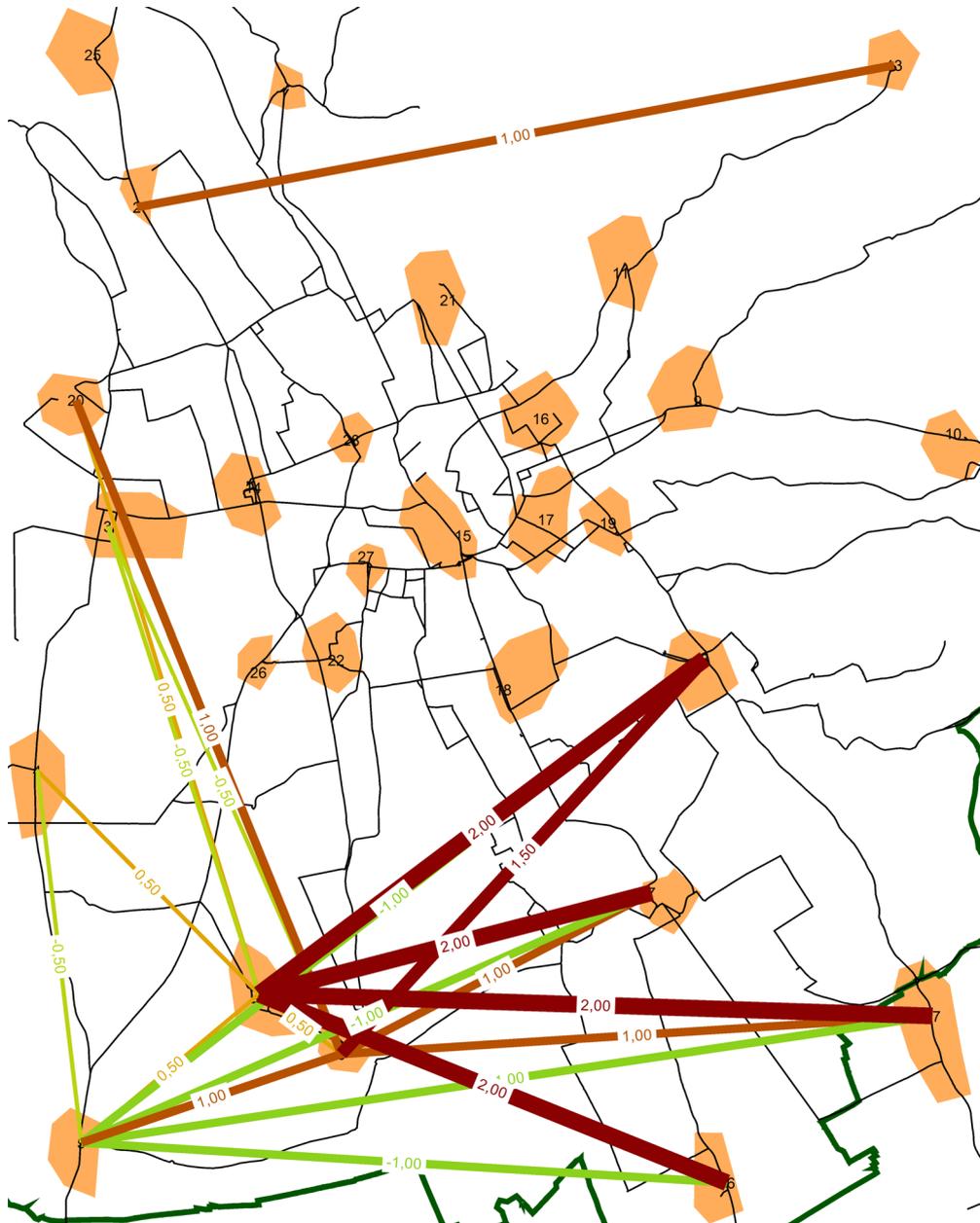


Abbildung 8.25.: Vergleich der Umsteigehäufigkeit auf Tangentialverbindungen, Netz 0 und Netz 2-10d.

8. Liniennetzgenerierung

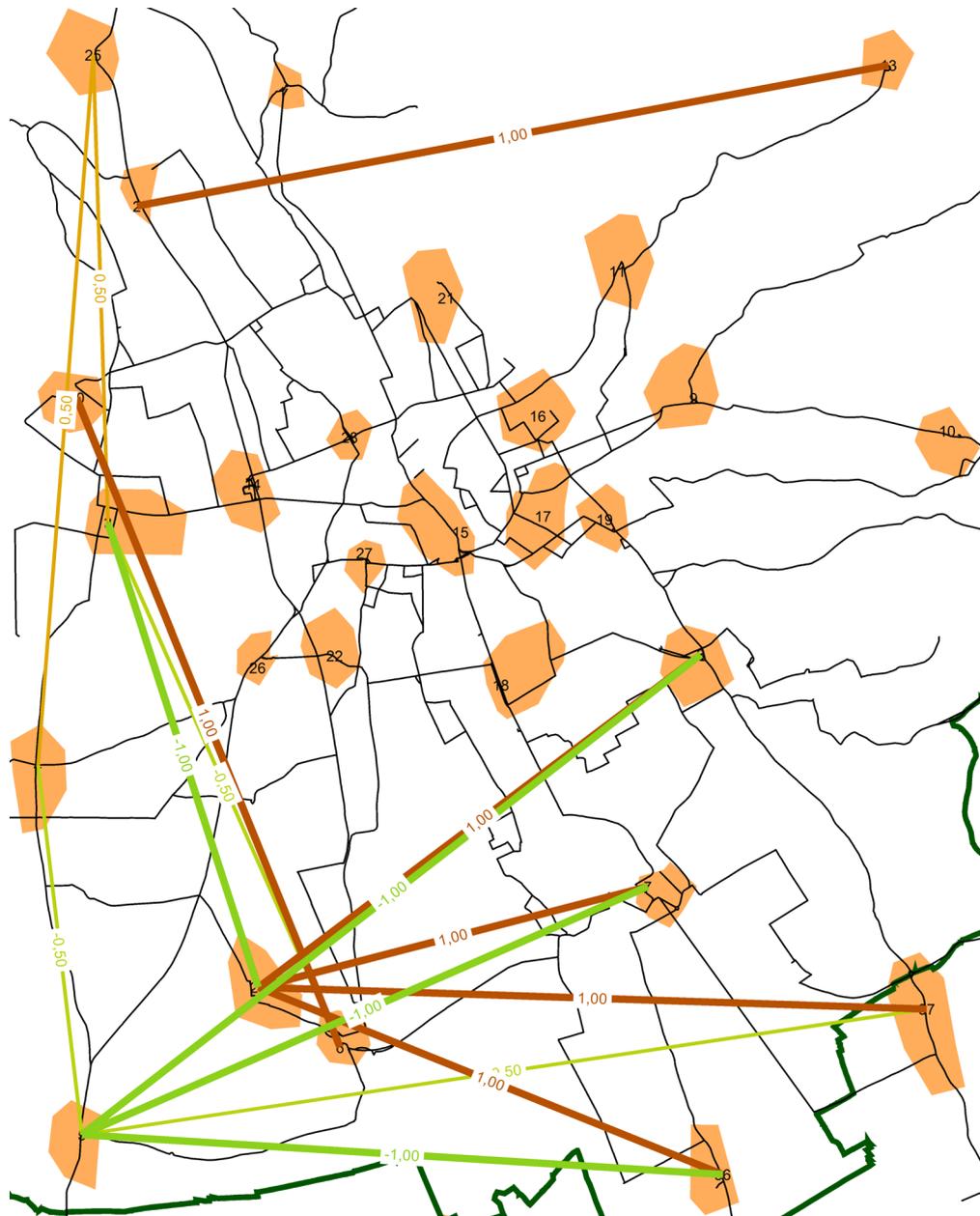


Abbildung 8.26.: Vergleich der Umsteigehäufigkeit auf Tangentialverbindungen, Netz 0 und Netz 2-15.

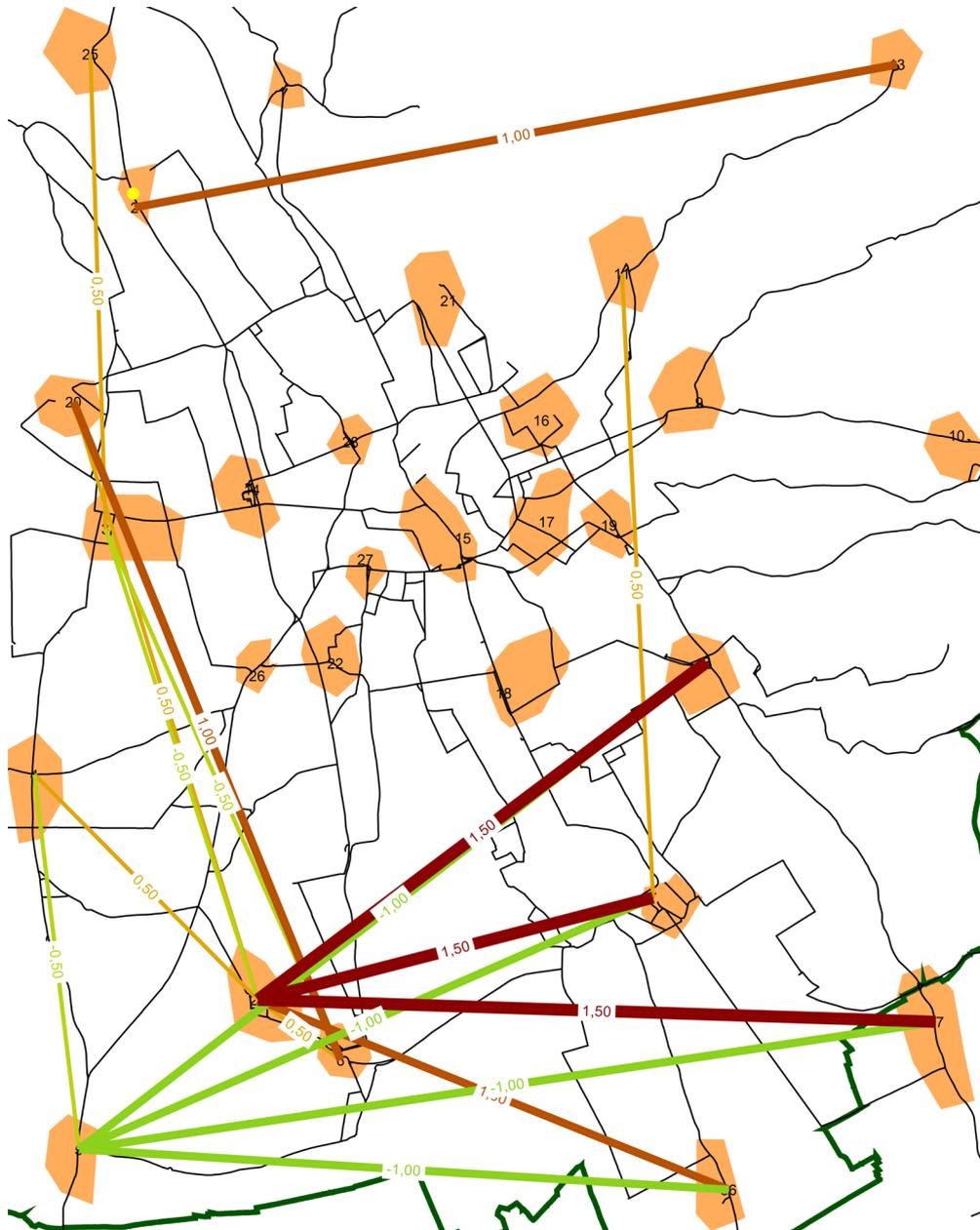


Abbildung 8.27.: Vergleich der Bedienungshäufigkeit auf Tangentialverbindungen, Netz 0 und Alternativnetz 15.

8. *Liniennetzgenerierung*

9. Schlussfolgerungen

Zusammenfassend betrachtet ergibt sich als wesentliche Kernaussage dieser Arbeit, dass mit einer Liniennetzoptimierung – sei es intuitiv oder algorithmusgestützt – eine wesentliche Verbesserung des Grazer Liniennetzes im Südwesten erzielt werden kann, ohne zusätzliche Betriebskosten zu verursachen. Es zeigt sich, dass eine Betrachtung des Planungsgebietes aufgrund der Nachfrageströme ein sinnvoller Weg ist, die Nachfrage bestmöglich und wirtschaftlich zu bedienen. Die Überarbeitung eines Liniennetzes nach gut 30 Jahren kann damit für absolut notwendig und sinnvoll erachtet werden.

Weiters zeigt sich, dass die beiden algorithmusgestützt erarbeiteten Liniennetze besser geeignet sind, die Nachfrage zu bedienen als intuitiv erstellte Liniennetze. Eine eindeutige Aussage, welches der beiden Liniennetze besser ist, kann jedoch nicht getätigt werden.

Ebenso kann keine Aussage getätigt werden, ob ein 15- oder ein 10-Minuten-Takt besser geeignet ist, in Graz Anwendung zu finden. Eine Vereinheitlichung auf das gesamte Grazer Liniennetz ist jedoch bedeutend einfacher möglich, wenn der Südwesten bereits auf eine einheitliche Taktfamilie gebracht wurde.

Ein zentraler Punkt, der unbedingt bei weiteren Überlegungen zu einer eventuellen Umsetzung dieser Vorschläge beachtet werden muss, ist die Wichtigkeit von Bürgerbeteiligung: In allen untersuchten Städten, die erfolgreich Liniennetzoptimierungen durchgeführt haben, fand bereits in der Planungsphase ein reger Kontakt mit Betroffenen statt. Diese Methode erwies sich als die einzig brauchbare, um die Vorlieben und Gewohnheiten bestehender Fahrgäste abzubilden und Attraktivitätsproblemen entgegenzuwirken. Bevor also überhaupt mit einer vertieften Untersuchung einer Liniennetzreform begonnen wird, muss das Konzept der Kommunikationsmaßnahmen erstellt werden.

Insbesondere sei an dieser Stelle gesagt, dass weder absolute noch relative Kennzahlen eine Aussage darüber geben können, wie gut ein Liniennetz politisch umsetzbar ist und welche Auswirkungen eine Liniennetzreform auf die öffentliche Meinung hat. Wie am Beispiel Wiesbaden ersichtlich, können selbst Negativschlagzeilen an anderen Schauplätzen (z. B. der Einsatz von Privatfirmen auf Buslinien) die Effekte einer Liniennetzreform überdecken und eine Bewertung des Erfolges verunmöglichen.

Ausblickend sei gesagt, dass mit Erstellung dieser Arbeit ein Versuch gewagt wurde, die aktuellen Optimierungsansätze zu vergleichen und einen davon auch auf ein reales Netz anzuwenden. Durch die Verwendung marktüblicher Modellierungssoftware konnte zudem eine ingenieurwissenschaftliche Basis geschaffen werden, auf der in Zukunft Liniennetzoptimierungen durchgeführt werden können. Das Bewertungsgerüst für Liniennetze, insbesondere die absoluten Kennzahlen, kann für die Bewertung von Liniennetzentwürfen, aber auch für die Abschätzung der Auswirkungen einzelner Linienänderungen auf das Gesamtnetz verwendet werden, womit ein objektives Bewertungskriterium zur Verfügung steht.

9. Schlussfolgerungen

Abkürzungsverzeichnis

- ADAC** Allgemeiner Deutscher Automobil-Club
BUND Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland
BVG Berliner Verkehrsbetriebe
DSW Dortmunder Stadtwerke
ESWE Wiesbadener Stadtwerke
F_{ij}^{ÖV} Matrix der Verkehrserzeugung aller Wege im ÖV von i nach j
GIVE Grazer Integrierte Verkehrsentwicklung
GKB Graz-Köflacher Eisenbahn- und Busbetrieb
GVB Graz AG Verkehrsbetriebe
HCM Highway Capacity Manual
HVZ Hauptverkehrszeit
ICRSGP Initial Candidate Route Set Generation Procedure
IV Individualverkehr
IVB Innsbrucker Verkehrsbetriebe
mIV Motorisierter Individualverkehr
MVG Münchner Verkehrsgesellschaft
NAP Network Analysis Procedure
NVP Nahverkehrsplan
NVZ Normalverkehrszeit
ÖPNV Öffentlicher Personennahverkehr
ÖV Öffentlicher Verkehr
ÖBB Österreichische Bundesbahnen
RBL Rechnergesteuertes Betriebsleitsystem
RGA Route Generation Algorithm
STEK Stadtentwicklungskonzept
STIB Société des Transports Intercommunaux des Bruxelles, Gesellschaft für interkommunalen Verkehr in Brüssel
SVZ Schwachverkehrszeit bzw. Schwachlastzeit
TCQSM Transit Capacity Quality of Service Manual
TNDFSP Transport Network Design and Frequencies Setting Problem
TNDP Transit Network Design Problem
TNDSP Transport Network Design and Scheduling Problem
TNFSP Transit Network Frequencies Setting Problem
TNSP Transport Network Scheduling Problem
TNTP Transit Network Timetabling Problem
VCD Verkehrsclub Deutschland
VDV Verband deutscher Verkehrsunternehmen

Glossar

Glossar

Ausgleichszeit Stehzeit an einer Haltestelle, die dem Abfangen von Unregelmäßigkeiten im Betrieb dient, um den Fahrplan stabil zu halten.

Durchfahrer Fahrgäste, die an einer Haltestelle im Fahrzeug verbleiben, ohne dort ein- oder auszusteigen.

Durchgangslinie Linie, die aus der Peripherie ins Zentrum verkehrt, dieses durchfährt und in die Peripherie weiterfährt.

Fahrplanfeine Umlegung Methode der Verkehrsumlegung, bei welcher jede einzelne Fahrt des Verkehrsmittels incl. Umsteigezeiten und Taktprüngen zur Bewertung herangezogen wird. Diese Art der Umlegung erfordert eine Tagesganglinie der Nachfrage und vollständige Fahrplandaten.

Fahrtzeitprofil Abfolge von Haltestellen mit der Fahrtzeit zwischen diesen und evtl. Wartezeiten an diesen, welche bei einer Linie jeder Fahrt zuweist, welche Haltestellen in welcher Fahrtzeit bedient werden.

HVZ Die Stunden werktagsmorgens und -nachmittags, an welchen das stärkste Verkehrsaufkommen auftritt.

Intervall Der zeitliche Abstand zwischen zwei Fahrzeugen derselben Linie in dieselbe Richtung.

Kurzführung Fahrt einer Linie, die nicht bis zur Endstation, sondern nur zu einer früher gelegenen Wendemöglichkeit führt.

Linienbündel Wenn zwei Linien einen längeren Streckenabschnitt gemeinsam befahren, spricht man von einem Linienbündel.

Mobilitäts-Zeitbudget Zeit pro Person im Verkehrsgebiet, die täglich für Mobilität aufgewendet wird.

Modal Split Der prozentuelle Anteil der einzelnen Verkehrsmittel an der Gesamtzahl der Wege im Verkehrsgebiet.

Motorisierungsgrad Anzahl der Fahrzeuge pro 1000 Einwohner im Verkehrsgebiet.

Belastungsspinne Eine Darstellung aller von einem Streckenabschnitt aus- und einstrahlenden Routen.

- Netzwerk** Das Phänomen, dass neu eingeführte Linien auch auf anderen Linien positiven Einfluss auf Fahrgastzahlen haben können, da dadurch das Netz insgesamt attraktiver wird.
- Nullfall** Ein Planungsszenario, in welchem keine Änderungen im Zielgebiet erfolgen; dient zu Vergleichszwecken.
- Ohnefall** Siehe Nullfall.
- ProBahn** Verband deutscher bzw. österreichischer Fahrgastvertretungen.
- Querschnittsbelastung** Anzahl der Fahrgäste (oder Fahrzeuge) pro Zeiteinheit, die einen Querschnitt einer Strecke passieren.
- NVZ** Die Zeit tagsüber, die nicht zur Hauptverkehrszeit und nicht zur Schwachlastzeit zählt.
- Operations Research** Ein Teilgebiet der Angewandten Mathematik, das sich mit der Optimierung bestimmter Prozesse oder Verfahren beschäftigt.
- Parallelführung** In dieser Arbeit (Stadtverkehr): siehe Linienbündel. Im Regionalverkehr: gleichlaufende Strecke zweier Linien (z. B. Bus/Bus oder Bus/Zug).
- Pufferzeit** Siehe Ausgleichszeit.
- Pulkbildung** Gruppen von Fahrzeugen, die aufgrund von angesammelter Verspätung kurz hintereinander statt im vorgesehenen Intervall verkehren.
- Radiallinie** Linie, die aus der Peripherie ins Zentrum verkehrt und dort endet.
- Reisegeschwindigkeit** Die durchschnittliche Geschwindigkeit, eine Ortsveränderung von Quelle bis Ziel („Tür-zu-Tür“) durchzuführen. Dabei sind sämtliche Zugangswege, Umsteigezeiten, Wartezeiten etc. inkludiert.
- Rendezvouspunkt** Haltestelle, an welcher mehrere aufeinandertreffende Linien abgestimmte Ankunfts- und Abfahrtszeiten aufweisen, sodass ein Umsteigen in alle Richtungen möglich ist. In der Regel, aber nicht zwangsläufig als Taktknoten ausgeführt.
- Rüstzeit** Die Zeit, die benötigt wird, um ein Fahrzeug in Betrieb zu setzen und abfahrbereit zu machen.
- Sanfte Mobilität** Die Summe aus Fußgänger- und Radverkehr sowie öffentlichem Verkehr.
- Strukturdaten** Daten über Einwohner, Arbeitsplätze, wichtige Punkte etc. im Verkehrsgebiet.
- Stumpfgleis** Gleis, welches ohne bauliche Wendemöglichkeit an einem Puffer o. Ä. endet. Umkehren ist dabei nur für Zweirichtungsfahrzeuge möglich.

- SVZ** Die Zeit, in welcher das geringste Verkehrsaufkommen zu verzeichnen ist, i. d. R. frühmorgens, abends, nachts sowie sonn- und feiertags.
- Symmetriezeit** Eine Uhrzeit, zu welcher Begegnungen zweier Fahrzeuge einer Linie erfolgen. Wenn eine Linie an einer Haltestelle um 13.08 Uhr nach Norden fährt und um 12.52 Uhr nach Süden, begegnen sich die Fahrzeuge um 13.00 Uhr an einer Haltestelle acht Minuten weiter südlich.
- Taktfamilie** Ein Satz von Intervallen, die jeweils ganzzahlige Vielfache voneinander sind, z. B. 5, 10, 20 oder $7\frac{1}{2}$, 15 und 30 Minuten.
- Taktknoten** Eine Haltestelle, an welcher koordinierte Ankunfts- und Abfahrtszeiten mehrerer Linien zu guten Anschlüssen in alle Richtungen führen. Taktknoten finden in ihrer Reinform zur Symmetriezeit statt.
- Taktlücke** Eine fehlende Fahrt zu einer Zeit, in der gemäß dem Intervall eine solche stattfinden sollte. Dies kann beispielsweise auftreten, wenn Fahrzeuge in Betriebshöfe einziehen, bei Taktsprüngen oder bei planmäßigem Fahrzeugmangel aus Gründen komplexer Umlaufplanung.
- Taktsprung** Der Wechsel von einem Intervall auf ein anderes. Dies ist entweder mit einem kurzzeitigen Überangebot oder einer Taktlücke verbunden.
- Tangentiallinien** Linie, die einen Kreisbogen oder eine parallel zum Zentrum verlaufende Gerade beschreibt und das Zentrum nicht erreicht. Sie dient der Verbindung von Subzentren untereinander.
- Umlauf** Zeit, die ein Fahrzeug einer Linie benötigt, um wieder in der gleichen Haltestelle in die gleiche Richtung auf der gleichen Linie zu sein. Wenn das Fahrzeug die Linie nicht wechselt, ist dies die Summe aus $2 \cdot$ Fahrtzeit und allen Stehzeiten an den Endhaltestellen sowie entlang der Linie.
- Verkehrsbedarfswert** Die Menge an Wegen, die innerhalb eines Zeitraumes von einer Verkehrszelle emittiert bzw. absorbiert wird.
- Verkehrserzeugung** Menge aller Wege, die von einem oder mehreren Zellen eines Verkehrsgebietes erzeugt werden, ggf. je Verkehrsmittel unterteilt.
- Verkehrsumlegung** Schritt nach der Verkehrserzeugung, bei welchem der erzeugte Verkehr nach Kriterien der Attraktivität im Netz auf die jeweils attraktivste Strecke gelegt wird. Daraus ergibt sich die Streckenbelastung.
- Verkehrssystem** Bezeichnung des Verkehrsmittels in VISUM.
- Verkehrszelle** Die kleinste Einheit einer Gebietseinteilung, in welcher sich eine möglichst verhaltenshomogene Gruppe von Menschen befindet, die gemeinsam einen Verkehrsbedarfswert erzeugen, der für die weitere Behandlung dieser Zelle herangezogen wird. Die Größe einer Zelle richtet sich dabei sowohl nach der Einwohner- bzw.

Glossar

Beschäftigtendichte als auch nach dem Vorhandensein wichtiger Einrichtungen sowie Begrenzungen durch bauliche oder natürliche Hindernisse.

VISUM Software der Firma PTV AG für Verkehrsanalysen.

Wahlfreiheit Personengruppen, die nicht durch verschiedene Umstände gezwungen sind, öffentliche Verkehrsmittel zu nutzen, sondern diese ausschließlich aufgrund von Attraktivitätskriterien wählen, nennt man wahlfrei.

Weg Von einer Person durchgeführte Ortsveränderung zwischen zwei Aktivitäten. Darin sind sämtliche dafür verwendeten Verkehrsmittel enthalten.

Wendezeit Die Zeit, die ein Fahrzeug benötigt, um die Fahrtrichtung zu wechseln.

Abbildungsverzeichnis

2.1. Beispiele für Netzgrundformen	17
2.2. Schemaskizze des Wiener Straßenbahnnetzes	18
2.3. Ausschnitt aus dem Schnellbahnnetz des Ruhrgebietes	19
2.4. Ausschnitt aus dem Prager Metro-Netzplan	19
2.5. Das Münchner U-Bahn-Netz	20
2.6. Weitere Liniennetzformen	21
2.7. Ausschnitt aus dem Mailänder U-Bahn-Netz	21
2.8. Liniennetz im Grazer Südwesten	22
2.9. Ausschnitt aus dem Prager Liniennetzplan	24
2.10. Ausschnitt aus dem Tübinger Liniennetzplan	24
2.11. Ausschnitt aus dem Innsbrucker Liniennetzplan	25
2.12. Ausschnitt aus dem Wiener U-Bahn-Netzplan	25
2.13. Ausschnitt aus dem Wiesbadener Liniennetzplan	26
2.14. Linienbündel in Graz	27
2.15. Ausschnitt aus dem Plan zur funktionellen Gliederung der Stadt Graz	29
2.16. Ausschnitt aus dem Wiesbadener Liniennetzplan	30
2.17. Ausschnitt aus dem Berliner 24-Stunden-Netzplan	31
2.18. Ausschnitt aus dem Liniennetzplan des Grazer Abendverkehrs	32
2.19. Schematische Darstellung der Taktfamilien in Graz	34
2.20. Linienverknüpfung bei unterschiedlicher Symmetrieminute, Variante 1	36
2.21. Linienverknüpfung bei unterschiedlicher Symmetrieminute, Variante 2	36
2.22. Linienverknüpfung bei gleicher Symmetrieminute	36
3.1. Ablaufdiagramm des Reduktionsverfahrens	42
3.2. Ablaufdiagramm des Teilstreckenverfahrens	42
3.3. Ablaufdiagramm des Divergenzfaktorverfahrens	44
3.4. Ablaufdiagramm des Verkehrsstromverfahrens	44
3.5. Ablaufdiagramm des Direktfahrerverfahrens	45
3.6. Ablaufdiagramm des Rückkopplungsverfahrens	45
3.7. Ablaufdiagramm des Linienvorschlagsverfahrens	51
3.8. Ablaufdiagramm des RGA	51
5.1. Clusterung der Fragen des Leitfadens	76
6.1. Neue Straßenbahnwagen am Südenende des Prémétrotunnels in Brüssel	80
6.2. Mit der Liniennetzreform 2000 wurden erstmals wieder Buslinien zum Dortmunder Hauptbahnhof geführt.	85

Abbildungsverzeichnis

6.3. Die Hauptbuslinie O erhielt mit der Liniennetzreform eine neue Linienführung in der Innenstadt.	90
6.4. Mit dem Projekt ‚TopBus‘ wurden in München MetroBus-Linien eingeführt.	93
6.5. Die Wiesbadener Buslinie 27B als Kombination zweier Äste ist ein Ergebnis der Liniennetzreform.	99
7.1. Planungsgebiet	106
7.2. Entwicklung des Modal Split in Graz	108
7.3. Ausbaustufen des Grazer Liniennetzes.	112
8.1. Einzugsbereich der Haltestellen Grazer Stadtverkehrslinien mit 300- und 500-Meter-Radien um Haltestellen	122
8.2. Lage der ausgewählten Endstationen im Planungsgebiet	126
8.3. Zentrenstruktur und Verbindungstypen in Graz	131
8.4. Auswirkungen von Alternativrouten auf die Nachfragereduktion	133
8.5. Darstellung Szenario Netz 0/Vergleichsnetz 0	135
8.6. Darstellung Szenario Netz 2-10	138
8.7. Darstellung Szenario Netz 2-15	139
8.8. Nachfragespinnen ausgewählter Strecken im Planungsgebiet.	141
8.9. Darstellung Szenario Alternativnetz 10	143
8.10. Darstellung Szenario Alternativnetz 15	145
8.11. Degree of Circuity, mittlere Reisezeit im Planungsgebiet und Reisezeitnachteil im Untersuchungsgebiet der besten drei Szenarien	147
8.12. Schwankungsbreiten für die Gewichtung der einzelnen Kennzahlen	149
8.13. Reisezeitveränderungen zu wichtigen Zielen, Netz 0 zu Netz 2-10d	150
8.14. Reisezeitveränderungen zu wichtigen Zielen, Netz 0 zu Netz 2-15	151
8.15. Reisezeitveränderungen zu wichtigen Zielen, Netz 0 zu Alternativnetz 15	152
8.16. Vergleich Bedienungshäufigkeit Radialverbindungen ins Zentrum, Netz 0 und Netz 2-10d	154
8.17. Vergleich Bedienungshäufigkeit Radialverbindungen ins Zentrum, Netz 0 und Netz 2-15	155
8.18. Vergleich Bedienungshäufigkeit Radialverbindungen ins Zentrum, Netz 0 und Alternativnetz 15	156
8.19. Vergleich Bedienungshäufigkeit Radialverbindungen zum Hauptbahnhof, Netz 0 und Netz 2-10d	157
8.20. Vergleich Bedienungshäufigkeit Radialverbindungen zum Hauptbahnhof, Netz 0 und Netz 2-15	158
8.21. Vergleich Bedienungshäufigkeit Radialverbindungen zum Hauptbahnhof, Netz 0 und Alternativnetz 15	159
8.22. Vergleich Bedienungshäufigkeit Tangentialverbindungen, Netz 0 und Netz 2-10d	160
8.23. Vergleich Bedienungshäufigkeit Tangentialverbindungen, Netz 0 und Netz 2-15	161

8.24. Vergleich Bedienungshäufigkeit Tangentialverbindungen, Netz 0 und Alternativnetz 15	162
8.25. Vergleich Umsteigehäufigkeit Tangentialverbindungen, Netz 0 und Netz 2-10d	165
8.26. Vergleich Umsteigehäufigkeit Tangentialverbindungen, Netz 0 und Netz 2-15	166
8.27. Vergleich Bedienungshäufigkeit Tangentialverbindungen, Netz 0 und Alternativnetz 15	167

Tabellenverzeichnis

Tabellenverzeichnis

2.1. Mindestanforderungen für Intervalle nach Gebietstyp in München	13
2.2. Haltestelleneinzugsbereiche nach Gebietstyp in München	13
2.3. Messgrößen/Richtwerte des Fahrtenangebotes in Wiesbaden	14
4.1. Levels of Service des Intervalls	65
4.2. Levels of Service der Betriebszeit	66
4.3. Gewichtung von Reisezeitkomponenten	70
4.4. Richtwerte für maximale Auslastungen	71
7.1. Qualitätskriterien und deren Einsatz für die vergleichende Bewertung . . .	114
7.3. Bewertung der Reisezeitkomponenten für die Netzbewertung	116
8.1. Relationsbezogene Mindestbedienstandards	123
8.2. Festlegung des maximalen Auslastungsgrades	123
8.3. Fahrzeugeinsatz im Planungsgebiet ab Herbst 2010	125
8.4. Liste der Szenarien	134
8.5. Bewertung der Varianten in absoluten Kennzahlen	146
8.6. Bewertung der Varianten in Abweichung vom Bestand	146
8.7. Einzelbewertungen der drei ausgewählten Szenarien	163

Literaturverzeichnis

Literaturverzeichnis

- Amt der Tiroler Landesregierung (2009): Mobilitätsverhalten. URL <http://www.tirol.gv.at/themen/verkehr/verkehrsplanung/mobil/mobilitaetsverhalten/>. Online; Stand 15. September 2010.
- Baaj, M. Hadi; Mahmassani, Hani S. (1995): Hybrid Route Generation Heuristic Algorithm for the Design of Transit Networks. In: Transportation Research Part C: Emerging Technologies Bd. 3(1), S. 31 .
- Baier, Reinhold; Hebel, Christoph (2005): Verkehrsentwicklungsplan Landeshauptstadt Wiesbaden. Wiesbaden: Landeshauptstadt Wiesbaden, Dezernat für Stadtentwicklung, Umwelt und Verkehr.
- Beckmann, Klaus (2006): Verkehrsentwicklungsplan. Beschluss der Vollversammlung des Stadtrats vom 15. März 2006. München: Landeshauptstadt München, Referat für Stadtplanung und Bauordnung, Hauptabteilung Stadtentwicklungsplanung, Abteilung Verkehrsplanung.
- Deboosere, P.; Eggerickx, T.; Hecke, E. Van; Wayens, B. (2009): The population of Brussels: a demographic overview. In: Brussels Studies. the e-journal for academic research on Brussels Bd. 3. URL http://www.brusselsstudies.be/PDF/Default.aspx?lien=EN_71_CFB3.pdf&IdPdf=71. Online, Stand: 4. August 2010.
- Eichmann, Volker; Berschin, Felix; Bracher, Tilman; Winter, Matthias (2005): Umweltfreundlicher, attraktiver und leistungsfähiger ÖPNV – ein Handbuch. Berlin: Deutsches Institut für Urbanistik.
- Fan, Wei; Machemehl, Randy (2006a): Optimal Transit Route Network Design Problem with Variable Transit Demand: Genetic Algorithm Approach. In: Journal of Transportation Engineering Bd. 132(1), S. 40.
- Fan, Wei; Machemehl, Randy (2006b): Using a Simulated Annealing Algorithm to Solve the Transit Route Network Design Problem. In: Journal of Transportation Engineering Bd. 132(2), S. 122.
- Flausch, Alain; Rat, Hans (2010): Boosting public transport: Action!. Foreword to the 59th UITP World Congress. URL <http://www.uitpdubai2011.org/congress/welcome-to-dubai/boosting-public-transport-action/>. Online, Stand: 18. September 2010.

- Franz, Hans-Dieter (1975): Untersuchung zur Planung von Verkehrsnetzen unter besonderer Berücksichtigung des öffentlichen Personennahverkehrs. In: *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Bd. 182. Bonn: Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen und Bundesverkehrsministerium.
- Galster, Manuel (2009): Modellierung von Anbindungen in Verkehrsplanungsmodellen. In: *Veröffentlichungen aus dem Institut für Straßen- und Verkehrswesen*. Stuttgart: Universität Stuttgart.
- Gellweiler, Armin (2010): Meine Stadt. URL <http://home.meinestadt.de/>. Online, Stand: 4. August 2010.
- Gemmer, Brigitte; Krauß, Thomas (2004): Ein neues Busnetz für München. In: *Verkehr und Technik* Bd. 10, S. 415ff.
- Guihaire, Valérie; Hao, Jin-Kao (2008): Transit network design and scheduling: A global review. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* Bd. 42(10), S. 1251 .
- Hu, Jianming; Shi, Xi; Song, Jingyan; Xu, Yangsheng (2005): Optimal Design for Urban Mass Transit Network Based on Evolutionary Algorithms. In: Wang, Lipo; Chen, Ke; Ong, Yew S. (Hrsg.) *Advances in Natural Computation, Lecture Notes in Computer Science*, Bd. 3611. Springer Berlin / Heidelberg, S. 1089–1100. 10.1007/11539117_148.
- Hüttmann, Rolf (1979): Planungsmodell zur Entwicklung von Nahverkehrsnetzen liniengebundener Verkehrsmittel. In: *Veröffentlichungen des Instituts für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau der Universität Hannover*, 1. Hannover: Universität Hannover.
- Kepaptsoglou, Konstantinos; Karlaftis, Matthew (2009): Transit Route Network Design Problem: Review. In: *Journal of Transportation Engineering* Bd. 135(8), S. 491.
- Kirchhoff, Peter (2002): Entwurf von ÖPNV-Liniennetzen, Kap. 5.3. Stuttgart: B. G. Teubner GmbH, S. 111ff.
- Kroißbrunner, Martin (2009): Mobilitätsverhalten der Grazer Wohnbevölkerung 2008. URL http://www.graz.at/cms/dokumente/10116576_2346678/b4665e62/Praesentation_Mobilit%C3%A4tserhebung%202008.pdf. Online, Stand: 24. Juni 2010.
- Königshofer, Daniela (2009): Verkehrsbetreiberübergreifendes Umsteigeverhalten von Fahrgästen des ÖPNV an wichtigen Umsteigeknoten in Graz. Diplomarbeit, Technische Universität Graz, Graz.
- Landeshauptstadt München (Hrsg.) (2005): Nahverkehrsplan der Landeshauptstadt München. München: Landeshauptstadt München, Referat für Stadtplanung und Bauordnung, Hauptabteilung Stadtentwicklungsplanung, Abteilung Verkehrsplanung.
- Lee, Young-Jae; Vuchic, Vukan (2005): Transit Network Design with Variable Demand. In: *Journal of Transportation Engineering* Bd. 131(1), S. 1 .

- Luser, Hansjörg; Hönig, Manfred; Müllneritsch, Bernhard; Rosinak, Werner (1995): Grazer Integrierte Verkehrsentwicklung. Gesamtverkehrskonzept. Graz: Magistrat Graz, Amt für Stadtentwicklung und Stadterhaltung, 1. Aufl.
- Meißner, Andreas; Sagolla, Winfried; Pott, Antje; Haller, Wolfgang; Lange, Johannes; Kotzke, Gabriele (2004): Masterplan Mobilität Dortmund 2004. Dortmund: Stadt Dortmund, Stadtplanungsamt.
- Nökel, Klaus (2006): Network Design for Public Transport. A VISUM Model. PTV AG, Karlsruhe.
- o. A. (2008): Koalitionsvertrag zwischen der Grazer Volkspartei und den Grünen – Alternative Liste Graz für die Gemeinderatsperiode der Landeshauptstadt Graz 2008 bis 2013.
- PTV AG (2004): Liniennetzoptimierung. Präsentation, Karlsruhe.
- Reinhold, Tom; Krafft-Neuhäuser, Heinz (2005): Metrobus und Metrotram für den Metropolenverkehr. In: Der Nahverkehr Bd. 7, S. 32.
- Rosmann, Heinz; Rogel, Josef; Wiener, Robert (2002): 3.0 Stadtentwicklungskonzept der Landeshauptstadt Graz in der Fassung 3.04. Verordnung des Gemeinderates der Landeshauptstadt Graz vom 18. Jänner 2001 und Erläuterungen unter Einbeziehung der Ergänzungsbeschlüsse vom 25. Oktober 2001, 4. Juli 2002, 3. Oktober 2002 und 7. November 2002. Graz: Magistrat Graz – Stadtplanungsamt.
- Schnabel, Werner; Lohse, Dieter (1997): Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung. 2. Berlin: Verlag für Bauwesen, 2. Aufl.
- Schwager, Dianne (2003): Transit Capacity and Quality of Service Manual, Kap. 3. Washington, DC: Transportation Research Board, 2. Aufl., S. 3.1–3.94.
- Schäffeler, Ulrich (2005): Was bewirken Tangentiallinien? In: Der Nahverkehr Bd. 7, S. 63ff.
- Schürmann, Rimbart (2004a): Liniennetzoptimierung Saarbahn GmbH. Karlsruhe: Saarbahn GmbH.
- Schürmann, Rimbart (2004b): Liniennetzoptimierung Saarbahn GmbH. Anlage. Karlsruhe: Saarbahn GmbH.
- Seerainer, Anja (2004): Strukturelle Bewertung von Buslinien im städtischen Raum. Diplomarbeit, Fachhochschule Joanneum, Kapfenberg.
- Siegloch; Bartschmid; Kirchhoff; Nickel; Sparmann; Szerbakovski; Tonne (1992): Linienoptimierung, Bd. 10/92. Köln: Verband Deutscher Verkehrsunternehmen.
- Simonis, Carsten (1981): Optimierung von Omnibuslinien. In: Berichte des Instituts für Stadtbauwesen, Bd. B26. Aachen: Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule.

- Simonis, Carsten; Wall, H. (1980): Omnibusnetze zur Erschließung von Verdichtungsräumen und deren Randzonen. In: *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*. Bonn: Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen und Bundesminister für Verkehr.
- Sonntag, Herbert (1977): *Linienplanung im öffentlichen Personennahverkehr*. Dissertation, Technische Universität Berlin.
- Sparmann, Udo (2006): Abschied vom Taktfahrplan? In: *Der Nahverkehr* Bd. 3, S. 12.
- Stadt Graz (2010a): Anwesende Bevölkerung nach Wohnsitz und Geschlecht pro Bezirk. Stand 01.07.2010. URL http://www1.graz.at/Statistik/Bev%C3%B6lkerung/aktuelles_quartal.pdf. Online, Stand: 26. September 2010.
- Stadt Graz (2010b): KFZ Verkehr. URL <http://www.graz.at/cms/beitrag/10029177/415716>. Online, Stand: 24. Juni 2010.
- Stottmeister; Bär; Fahl; Fiedler; Heußner; Kloth; Koch; Köhler; Lau; Laubert; Reiz; Speck; Wolff; Zöllner (2001): Merkblatt zum Integralen Taktfahrplan. Definitionen, Randbedingungen, Einsatzmöglichkeiten und Einsatzgrenzen im Fern-, Regional und Nahverkehr. Bergisch Gladbach: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.
- Strauß, Petra; Schürmann, Rimbart (2008): *2. Nahverkehrsplan der Landeshauptstadt Wiesbaden*. Karlsruhe: Lokale Nahverkehrsgesellschaft und ESWE Verkehrsgesellschaft mbH.
- Thomä, Frank (1979): *Die Bewertung der Reisezeitkomponenten im städtischen Personennahverkehr und ihre Auswirkungen auf den Modal-Split am Beispiel des Arbeitsstätten- und Ausbildungsverkehrs*. Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule, Aachen.
- Tom, V. M.; Mohan, S. (2003): Transit Route Network Design Using Frequency Coded Genetic Algorithm. In: *Journal of Transportation Engineering* Bd. 129(2), S. 186.
- Verkehrsclub Österreich (2010): VCÖ-Untersuchung: In Wien und Graz leben immer mehr Personen ohne Auto. URL <http://www.vcoe.at/start.asp?ID=8150&b=92>. Online, Stand: 24. Juni 2010.
- Voß, Stefan; Daduna, Joachim R. (2001): Computer-Aided Scheduling of Public Transport. In: *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, Bd. 505. Berlin: Springer Verlag.
- Völker, Marcus (2001): Busliniennetze optimal gestalten. Ein multikriterieller Algorithmus zur rechnergestützten Planung. In: *Der Nahverkehr* Bd. 6, S. 12ff.
- Zhao, Fang; Zeng, Xiaogang (2007): Optimization of User and Operator Cost for Large-Scale Transit Network. In: *Journal of Transportation Engineering* Bd. 133(4), S. 240.

Anhang: Interview-Leitfaden

1. Innerhalb welcher Grenzen liegt/lag das Projektgebiet? Warum wurde genau dieses Gebiet gewählt?
2. Welche Vorlaufzeit und welcher Umsetzungshorizont liegt/lag dem Projekt zugrunde?
3. Inwieweit flossen Erfahrungen anderer Betriebe (welche) auf die Liniennetzreform ein?
4. Aus welchem Grund wurde eine Liniennetzreform durchgeführt?

Aus Sicht der Betreiber, aus Sicht der Besteller, aus Sicht der Fahrgäste, aus Sicht von Interessenvertretungen

5. Welche Ziele wurden bei der Liniennetzreform verfolgt?
Z. B. Kostenreduktion, Erschließung neuer Gebiete, Attraktivierung, Reduktion von Doppelgleisigkeiten) Beschreibung der Ziele seitens der Betreiber, seitens der Besteller, aus Sicht der Fahrgäste, aus Sicht von Interessenvertretungen
6. Welche Randbedingungen wurden vor Durchführung der Liniennetzreform festgelegt?
Z. B. Gleiche Kosten, gleiche Fahrzeuganzahl, Minimierung der Umsteigehäufigkeit etc. – Randbedingungen seitens der Betreiber, seitens der Besteller, seitens Interessenvertretungen
7. Auf welche Daten wurde vor Erstellung zurückgegriffen? Wie/wann wurden diese erhoben?

Wichtige Daten:

Befragung von Fahrgästen, Zählungen, Befragung von IV-Nutzern?

Bestandsdaten: Fahrgastzahlen, Personen-, Sitzplatz-, Fahrzeugkilometer, Kosten pro Fahrgast, Umsteigerelationen und -häufigkeit, verkehrsmittel- und verkehrsunternehmensübergreifende Fahrgastströme, Image

Potenzialdaten (Nachfragemodell): Zellengröße, Feinheit, überregionale Nachfrage; Modal Split, Weglänge, Mobilitäts-Zeitbudget, Arbeitsstätten, Wohnorte, Verkehrsleistung insgesamt, Motorisierungsgrad

8. Arbeiten Sie mit Prognosen? Auf welcher Basis werden diese erstellt?
9. Welche Vorgehensweise wurde bei der Liniennetzoptimierung gewählt?
 - Wurde nach dem Prinzip einer Linienumlegung gearbeitet oder handelt es sich um eine vollständige Neukonstruktion des Liniennetzes?
 - Welche Einschränkungen wurden von vornherein gesetzt?
 - Wie wurden andere Verkehrsbetriebe und andere Verkehrsmittel im Projektgebiet berücksichtigt?
 - Wie wurden Gewohnheiten bestehender Fahrgäste (Routenwahl, Umsteigeverhalten) berücksichtigt?
 - Wie berücksichtigten Sie die wechselseitige Abhängigkeit von Intervall und Linienführung?
 - Welchen Einfluss hatten Bestandsdaten, welchen Einfluss hatten allgemeine Strukturdaten? Welche Art von Nachfragemodell wurde verwendet?
 - Welche Software, welches mathematische Modell wurde angewandt?

Wichtige Daten: Grad der manuellen Arbeit im Algorithmus, Behandlung der beschränkten Routenwahl („wo liegen Schienen“) im Straßenbahn-/Obusnetz, Behandlung von Parallelführungen verschiedener Verkehrsmittel (Bus/Tram etc.), Einschränkung der Umsteigehäufigkeit, Einfluss nicht messbarer Erfahrungen von Experten bzw. Mitarbeitern des Verkehrsunternehmens

10. Welche messbaren Auswirkungen erleben Sie bislang und wie verhalten diese sich im Verhältnis der erwarteten Auswirkungen?
Wichtige Daten: Δ Durchschnittliche Reisedauer, Δ Einnahmensituation, Δ Fahrgastzahlen (Zugewinn neuer Fahrgäste und Verlust bestehender?), Δ Umsteigehäufigkeit, Δ Pünktlichkeit, Befragungsergebnisse
11. Welche nicht messbaren Auswirkungen (Lob, Beschwerden) treten bislang auf?
Wichtige Daten: Δ Image, Δ Kundenzufriedenheit, Verärgerung bestehender Fahrgäste
12. Traten unvorhergesehene Begleiteffekte mit der Liniennetzreform auf?
13. Welche Erkenntnisse ziehen Sie aus der durchgeführten Liniennetzreform?

1. Which area does/did your project cover? Why did you choose this area?
2. Which amount of time did the planning of the network restructuring take and within which period was it implemented?
3. Did you (and how did you) take into account experiences of other transport companies? Which other companies?
4. What was the reason for considering a network restructuring?
From the operators', municipalities', passengers' and lobbies' point of view
5. Which goals were tried to achieve by the network restructuring?
E. g. cost reduction, minimizing changes, coverage of new area, service improvement, etc. Name goals by the operator, by the community, by passengers (?), by lobbies
6. Which restrictions were imposed on the project beforehand?
E. g. same costs, same amount of vehicles etc. Name restrictions imposed by the operator, by the community, by lobbies
7. Which data was considered for the project and how/when was the data collected?
Important data:
Passenger survey, survey among car drivers etc.
Existing passengers: Number of passengers, passengers' km, seat km, vehicle km, costs per passenger, number and direction of interchanges, interchange to/from other operators/means of transport, public reception
Potential passengers (demand model?): cell size of demand model, degree of precision, supraregional demand, modal split, trip length, time spent on mobility, work places, residences, total traffic, motorisation rate
8. Do you use forecasts? On which basis are they being developed?
9. Which method of restructuring did you apply?
 - Did you restructure the network by rearranging existing routes or did you reconstruct the entire network from scratch?
 - Which restrictions were imposed right away?
 - How did you take into account other operators and other means of transport within the project area?
 - How were habits of existing passengers (route decision, changes) taken into account?
 - How did you treat the interdependence of headway and route layout?
 - How much (and which) influence did existing passenger data have on the restructuring and which influence did a demand model have?
 - Which software package and which mathematical model was used?

Important data: amount of manual work within the algorithm, treatment of restricted routes in tramway/trolley/metro networks, treatment of parallel routes of different means of transport, restriction of interchanges, influence of experiences by senior employees and experts
10. Which changes in data have you noticed so far? How are they related to the expected outcomes?
Important data: Δ mean trip time, Δ venues, Δ number of passengers (new passengers, lost passengers), interchanges, punctuality, results of surveys
11. Which subjective feedback have you received so far?
Important data: Change in public reception, change in passenger satisfaction, irritation of existing passengers
12. Did you experience any unpredicted side effects of the network restructuring?
13. Which knowledge have you gained from the network restructuring so far?