

---

Konrad-Zuse-Zentrum  
für Informationstechnik Berlin

Takustraße 7  
D-14195 Berlin-Dahlem  
Germany

RALF BORNDÖRFER    ISABEL FRIEDOW    MARIKA KARBSTEIN

## **Optimierung des Linienplans 2010 in Potsdam**

Supported by the DFG Research Center MATHEON "Mathematics for key technologies" in Berlin

---

ZIB-Report 12-04 (January 2012)

Herausgegeben vom  
Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin  
Takustraße 7  
D-14195 Berlin-Dahlem

Telefon: 030-84185-0  
Telefax: 030-84185-125

e-mail: [bibliothek@zib.de](mailto:bibliothek@zib.de)  
URL: <http://www.zib.de>

ZIB-Report (Print) ISSN 1438-0064  
ZIB-Report (Internet) ISSN 2192-7782

# Optimierung des Linienplans 2010 in Potsdam\*

Ralf Borndörfer   Isabel Friedow   Marika Karbstein

## AUSGANGSLAGE

Die ViP Verkehr in Potsdam GmbH (ViP) ist der Mobilitätsdienstleister der Landeshauptstadt Potsdam. Mit 50 Bussen, 55 Trams und einer Fähre werden 496 Bus-, 126 Tram- und 2 Fährhaltestellen in einem Liniennetz von 389 km Länge verbunden, das jährlich von etwa 27 Millionen Fahrgästen genutzt wird [4].

Im Zuge der Übernahme von 6 Linien der Havelbus Verkehrsgesellschaft mbH (HVB) durch die ViP ergab sich 2009 die Notwendigkeit der Entwicklung eines neuen Linien- und Taktplans für das Jahr 2010. Dieser sollte folgende Anforderungen erfüllen:

- Keine Mehrkosten (Deckelung der Linienkilometerkosten)
- Bessere Bedienqualität (Minimierung der Gesamtfahrzeit und der Anzahl an Umstiegen)
- Einhaltung planerischer Vorgaben (Mindesttaktung für die Straßenbahn, Mindestbedienhäufigkeiten pro Haltestelle, Mindest- und Höchstlängen für Linien).

## LINIENOPTIMIERUNG

ViP setzt das Verkehrsanalysesystem VISUM [5] der PTV AG zur Bewertung von Linienplänen ein. Die Planvarianten selbst werden per Hand konstruiert. Es stellt sich die Frage, ob dieser Planungsprozess in ähnlicher Weise durch mathematische Optimierungstools unterstützt werden kann, wie das heute in der Umlauf-, Dienst- und Dienstreihenfolgeplanung allgemein üblich ist [1].

Das Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin (ZIB) entwickelt in einem Projekt des DFG-Forschungszentrums MATHEON ein Verfahren zur mathematischen Linienoptimierung [2]. Dieses Tool wurde bei der Optimierung des ViP Linienplans 2010 in einer projektbegleitenden Studie eingesetzt, um Alternativen bei verschiedenen Planungs- und Zielvorgaben auszuloten. Im Verlauf der Studie flossen wiederholt Informationen aus Optimierungsrechnungen in einen manuell fortgeschriebenen Linienplan ein. Der am Ende von ViP umgesetzte Linienplan entstand deshalb mit Optimierungsunterstützung, auch wenn die Planung letztlich manuell erfolgte.

## MACHBARKEITSBEWWEIS

Unsere Vision für die Zukunft ist die direkte Verwendung optimierter Linienpläne. Um die Machbarkeit dieser Idee nachzuweisen, evaluieren wir im Nachgang einen mathematisch optimierten Linienplan durch einen detaillierten Vergleich mit dem ViP Linienplan 2010. Der Vergleich erfolgt durch eine Simulation beider Pläne mit VISUM. Dieses anerkannte Analysesystem ermöglicht eine realistische Prognose des Passagierverhaltens, und es stellt umfangreiche Statistik- und Visualisierungsfunktionen zur Verfügung. Die Simulationen werden die Optimierungsergebnisse bestätigen: Eine weitere Verkürzung der Reisezeit um 1%, eine als um 6% verkürzt empfundene Reisezeit, 10% weniger Fahrzeit im Fahrzeug und eine gleichzeitige Kostenreduktion um 5% sind möglich, wenn man eine punktuelle Ausdünnung des Netzes akzeptiert, vgl. auch [3]. In der Simulation treten keinerlei Verstöße gegen Planungsvorgaben oder sonstige Zulässigkeitsprobleme auf. Damit ist unseres Wissens erstmals der Machbarkeitsnachweis für eine mathematische Linienoptimierung erbracht.

## DATEN UND VORGABEN

Das Nahverkehrsnetz von Potsdam stand in einer VISUM-Netzdatei zur Verfügung, die Fahrgastzahlen in einer Quelle-Ziel-Nachfragedatei. Anders als bei der Handplanung müssen bei einer Optimierung die theoretisch nutzbaren Freiheitsgrade vorab vollständig erfasst werden. Die Netz-

---

\*Supported by the DFG Research Center "Mathematics for key technologies"

	OPT	P10
mittlere Reisezeit	36min 3s	36min 39s
mittlere Beförderungszeit	16min 15s	17min 42s
mittlere Fahrzeit im Fahrzeug	13min 8s	14min 36s
mittlere Umsteigewartezeit	1min 30s	1min 29s
mittlere Gehzeit	1min 38s	1min 37s
mittlere empfundene Reisezeit	26min	27min 37s
Gesamtumsteigehäufigkeit	10595	11141
PF mit 0 Umstiegen	37 338	36 851
PF mit 1 Umstieg	10 088	10 503
PF mit 2 Umstiegen	243	306
PF mit mehr als 2 Umstiegen	7	9

**Tabelle 1:** ÖV-Statistik für die Linienpläne OPT und P10.

daten mussten dazu entsprechend erweitert und verfeinert werden, z.B. wurden mögliche neue Strecken definiert und Haltestellen als mögliche Start- oder Endpunkte von Linien markiert. Diese Vorarbeiten werden leicht unterschätzt, sind aber von entscheidender Bedeutung und verursachen den Löwenanteil des Arbeitsaufwands. Ebenso wurde ein Regelwerk von Planungsvorgaben festgelegt, u.a. ein Mindesttakt für die Straßenbahn, eine Mindestbedienhäufigkeit pro Haltestelle, Mindest- und Höchstlängen für Linien, die Kapazitäten der Verkehrsmittel, Kostensätze pro Bus- und Tramkilometer usw. Unter diesen Rahmenbedingungen wurden Linienrouten und Takte für den morgendlichen Berufsverkehr zwischen 6 und 9 Uhr optimiert.

### UMLEGUNG MIT VISUM

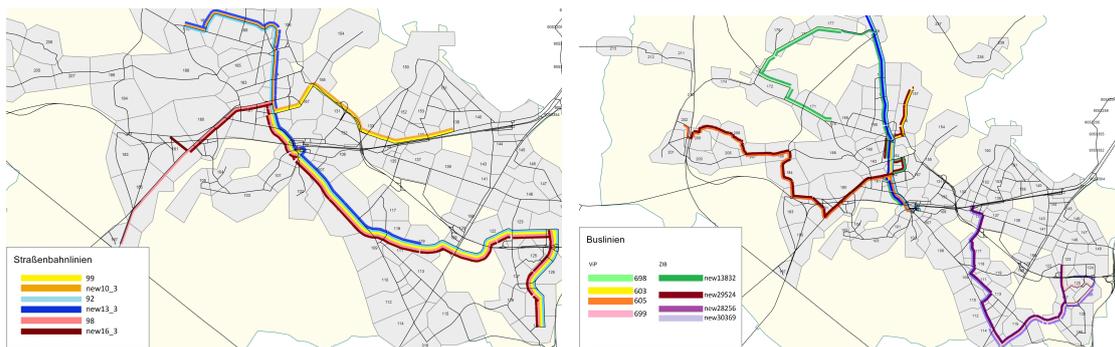
VISUM kann eine sogenannte Fahrgastumlegung berechnen, die das Verhalten der Passagiere für ein gegebenes Verkehrsangebot prognostiziert. Auf dieser Basis können genaue Reisewege und davon abgeleitete Kenngrößen wie Linienauslastungen, Reisezeiten und Umsteigehäufigkeiten ermittelt werden. Für die Berechnung der Fahrgastumlegung gibt es in VISUM verschiedene Umlegungsverfahren. Wir verwenden die sog. taktfeine Umlegung. Diese eignet sich zum einen besonders für städtische Netze, zum anderen war die Fahrplanerstellung nicht Bestandteil der Linienplanung, d.h. für alle Linienpläne wurden nur Taktpläne berechnet, und keine exakten Fahrpläne.

Wir haben folgende VISUM-Einstellungen verwendet. Die Taktermittlung für das Umlegungsverfahren erfolgte konstant aus dem Fahrzeitprofilattribut Takt. Bei der Routensuche wurde eine netzweite Koordinierung vorgenommen. Koordinierte Fahrzeitprofile wurden als unterscheidbar angenommen, d.h. bei Linien, die auf einem Teilstück gemeinsam verkehren, wird eine Taktverdichtung angenommen, der Fahrgast unterscheidet aber zwischen Linien, falls eine ihn schneller ans Ziel bringt. Da viele Haltestellen in der Potsdamer Innenstadt über ein dynamisches Fahrgastinformationssystem verfügen, wurden aktuelle Abfahrtszeiten für die Routenwahl als bekannt vorausgesetzt und die Startwartezeit auf 0 gesetzt. Anschlüsse wurden ignoriert, da im Netz kein Fahrplan festgelegt wurde. In die Widerstandsberechnung geht nur die empfundene Reisezeit ein, wobei die Umsteigehäufigkeit mit dem Faktor 15 Minuten multipliziert wurde, da ViP großen Wert auf Verbindungen mit wenigen Umstiegen legt. Die maximale Dauer eines Fußweges wurde auf 15 Minuten beschränkt, da eine höhere Gehzeit im Potsdamer Stadtgebiet nicht notwendig sein sollte.

Die von VISUM berechnete Umlegung unterscheidet sich von der im Optimierungsverfahren eingesetzten. Dort werden für jede Quelle-Ziel-Beziehung maximal 2 Reisewege betrachtet, während VISUM teilweise über 100 Routen verwendet. Diese unterscheiden sich meistens durch verschiedene Ein-, Aus- und Umsteigehaltenstellen sowie durch eine unterschiedliche Wahl parallel verkehrender Linien. Von den 4 457 vom Optimierungstool verwendeten Reisewegen nutzt VISUM 3 984 (89%); auf diesen gleichen Wegen reisen im Umlegungszeitraum 32 453 von insgesamt 47 743 Passagieren (68%). Die beiden Umlegungen sind also nicht identisch, aber wie erhofft ähnlich.

### ERGEBNISSE

Wir vergleichen im Folgenden einen mathematisch optimierten Linienplan (OPT) und den von ViP umgesetzten Linienplan 2010 (P10) im Detail. Tabelle 1 listet einige wichtige Kenngrößen aus der von VISUM generierten ÖV-Statistik.



**Abbildung 1:** Straßenbahnlinien (*links*) und Buslinien (*rechts*), die sich in den Netzen OPT und P10 unterscheiden.<sup>1</sup>

### Bedienqualität

Bei einer um 1,6 % leicht verbesserten mittleren Reisezeit ergibt sich die signifikanteste Veränderung für die Fahrzeit im Fahrzeug: Fahrgäste im OPT-Netz verbringen dort 10% weniger Zeit. Man könnte vermuten, dass es dafür vermehrt zu Umstiegen oder längeren Fußwegen kommt. Die Gesamtgehzeit ist jedoch nur um 1% geringfügig erhöht, die Gesamtumsteigehäufigkeit konnte sogar um 5% reduziert werden. Im Umlegungszeitraum beläuft sich die Anzahl der Personenfahrten (PF) zwischen Quell- und Zielbezirken auf insgesamt 47 743. Aufgeschlüsselt nach Umsteigehäufigkeiten bedeutet dies, dass im OPT-Netz 487 Personen mehr ihr Reiseziel ohne Umstieg erreichen. Die Anzahl der PF mit einem Umstieg kann von 10 503 auf 10 088 reduziert werden, mit 2 Umstiegen von 306 auf 243 und anstatt für 9 sind im OPT-Netz nur noch für 7 PF mehr als zwei Umstiege nötig. Die mittlere empfundene Reisezeit, die sich aus gewichteten Teilzeiten der Reisezeit wie Fahrzeit, Umsteigewartezeit, Zugangs- und Abgangszeit zusammensetzt und ein Bewertungskriterium zur Verbindungswahl darstellt, beträgt im OPT-Netz 26 Minuten, im P10-Netz hingegen 27 Minuten 37 Sekunden, was einer Verbesserung um 6% entspricht.

### Kosten

Trotz identischer Linienanzahl ergeben sich aufgrund von Unterschieden in Länge und Takt signifikante Veränderungen der Kosten. So umfasst das P10-Netz rund 2 321 Buskilometer und 1 440 Straßenbahnkilometer. Das OPT-Netz weist ein Busnetz von 2 393 km und ein Tramnetz von 1 207 km Länge auf. Werden pro Linienkilometer Kosten in Höhe von 2,34€ für Straßenbahnen und 1,96€ für Busse angenommen, so verursacht das P10-Netz Kosten in Höhe von 7 918€ gegenüber 7 514€ für das OPT-Netz. Dies entspricht einer Kostensenkung um 5%. Der Preis für diese Einsparung ist eine Ausdünnung des Tramnetzes um 193 km (13,4%) und, wie sich noch zeigen wird, einiger Bustakte.

### LINIENANALYSE

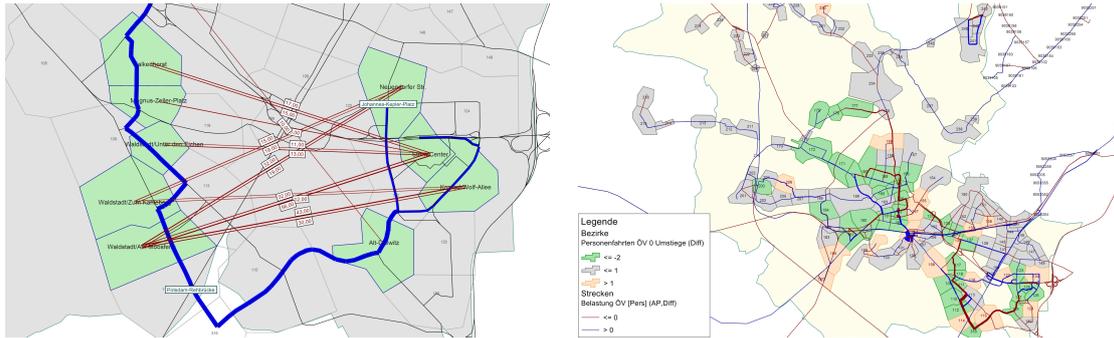
Betrachtet man die Linienverläufe und Takte im Detail, so sind 11 der 16 Buslinien und 4 der 7 Tramlinien in beiden Netzen identisch. Abbildung 1 zeigt die Abweichungen aufgeschlüsselt nach Bus und Straßenbahn. Linien des OPT-Netzes, die im P10-Netz nicht vorkommen, tragen Bezeichner mit dem Präfix *new*, die Linien des P10-Netzes ihre Nummern. Wir vergleichen im Folgenden die Auswirkungen der veränderten Linienführungen anhand von ÖV-Beziehungen mit durchschnittlicher und überdurchschnittlicher Nachfrage, das sind in unserem Fall Quelle-Ziel-Beziehungen mit 10 oder mehr PF. Die Analyse wird deutlich machen, dass scheinbar kleine Veränderungen im Netz zu bemerkbaren Änderungen des Reiseverhaltens führen können.

#### Tramlinie 98

Die Linienführungen der P10-Tram 98 und der OPT-Tram *new16* sind weitestgehend identisch. Schloss Charlottenhof ist Endhaltestelle der Linie *new16*. Die Linie 98 bedient noch drei weitere Haltestellen und endet am Bhf Pirschheide. Durch diese Verkürzung fällt im OPT-Netz zwar eine direkte Verbindung zwischen dem Südosten Potsdams und dem Südwesten weg, aber die Nachfrage nach einer solchen Verbindung ist gering. Die Kosten können dafür um 82€ gesenkt werden.

#### Tramlinie 92

Auch die *new13* stellt eine verkürzte Variante einer P10-Linie dar, der Tram 92. Nachdem die *new13* bereits am Bisamkiez endet, führt die 92 weiter über den Johannes-Kepler-Platz zur Marie-Juchacz-



**Abbildung 2:** Links: Nachfragerelationen, für die Buslinien new28256 und new30369 eine direkte Verbindung darstellen. Rechts: Differenzplot von umsteigefreien Personenfahrten aufgeschlüsselt nach Bezirken (grün: mehr umsteigefreie PF im OPT-Netz, gelb: mehr umsteigefreie PF im P10-Netz).<sup>1</sup>

Str. und bietet Passagieren eine Direktfahrt zwischen der Kirschallee und den Wohngebieten im Südosten. Diese Verbindung fehlt im OPT-Netz, jedoch existieren hier zufriedenstellende Alternativen. So besteht zum Beispiel die Möglichkeit, mit einer Reisezeit von 39 Minuten 25 Sekunden und einem Umstieg vom Quellbezirk Konrad-Wolf-Allee zum Zielbezirk Kirschallee zu gelangen (38 PF). Im P10-Netz benötigt man dafür mindestens 45 Minuten 50 Sekunden. Die Straßenbahnlinien sind pro Route ca. 5 km kürzer, was zu einer Ersparnis in Höhe von 224 € führt.

### Tramlinie 99

Die bisher betrachteten Tramlinien unterscheiden sich im Wesentlichen nur in ihrer Länge. Die Tramlinien 99 und new10 weisen jedoch einen unterschiedlichen Verlauf auf und stellen damit die stärkste Abweichung des OPT-Netzes vom P10-Netz dar. Zwar nehmen beide ihren Anfang an der Haltestelle Fontanestr., doch ab dem Platz der Einheit schlagen sie verschiedene Richtungen ein. Die OPT-Linie new10 fährt in den Nordwesten und endet am Haltepunkt Kirschallee. Die 99 endet an der Marie-Juchacz-Straße.

Durch eine Inbetriebnahme der optimierten Linie new10 können nicht nur Kosten in Höhe von 239 € eingespart werden, es wird auch eine wichtige durchgängige Verbindung zwischen Babelsberg und Bornstedter Feld bzw. Kirschallee geschaffen. Die Nachfrage nach einer solchen Verbindung ist weitaus höher als die für die Tramlinie 99. Fahrgäste können vom Bezirk Kirschallee im OPT-Netz nach einer Reisezeit von 27 Minuten 17 Sekunden den Haltepunkt Rathaus Babelsberg ohne Umstieg erreichen (83 PF), während Nutzer des P10-Netzes keine Route mit einer Reisezeit unter 38 Minuten 54 Sekunden finden, und mindestens einmal umsteigen müssen. Umgekehrt bietet das OPT-Netz den Passagieren, die im P10-Netz die 99 benutzen würden, sehr gute Alternativrouten. So erreichen z.B. Fahrgäste von Bezirk Kirchsteigfeld Nord den Zielbezirk S-Bahnhof Babelsberg (11 PF) mit einmaligem Umstieg in 24 Minuten 9 Sekunden, wohingegen P10-Fahrgäste 47 Minuten 4 Sekunden ohne Umstieg benötigen, mit einem Umstieg sind es immer noch 44 Minuten 5 Sekunden. Der Wegfall der Tram 99 kann also benutzerfreundlich kompensiert werden.

### Buslinie 638

Die Buslinien 638 und new1163 unterscheiden sich in ihrem Verlauf nur geringfügig. Die Buslinie 638 fährt zusätzliche 7 Haltepunkte im Bereich Groß Glienicke an. Diese werden von einer weiteren, in beiden Netzen identischen Linie bedient, so dass die Personenbeförderung auch im OPT-Netz gewährleistet ist und eine Kostenreduktion von 30 € erreicht wird.

### Buslinie 698

Die Buslinie 698, im P10-Netz als Zubringer zur Tram eingesetzt, wird im OPT-Netz zur verlängerten Linie new13832. Ab Haltepunkt Weißer See, der Endhaltestelle der 698, führt die new13832 über wichtige Umsteigehaltestellen wie Reiterweg/Alleestr. und Platz der Einheit zum Hauptbahnhof. Diese optimierte Linie eröffnet Passagieren der Bezirke Max-Eyth-Allee und Schneiderremise die im P10-Netz nicht vorhandene Möglichkeit, den Hbf umsteigefrei zu erreichen (40 PF). Trotz der erheblichen Verlängerung von ca. 6 km auf 13 km pro Route steigen die Kosten aufgrund einer Taktsenkung lediglich um 17 €, denn new13832 verkehrt nur stündlich. Dies hat allerdings auch

<sup>1</sup>Grafiken erstellt mit VISUM

zur Folge, dass im OPT-Netz 4 Haltepunkte nur noch stündlich bedient werden.

### **Buslinie 605**

Die von der HVG übernommene Linie 605 verbindet Golm mit der Potsdamer Innenstadt. Auch die new29524 startet in Golm, jedoch nicht am Wissenschaftspark sondern am Bahnhof Golm/Universität. Ab Platz der Einheit nimmt diese Linie dann eine Route Richtung Norden über den Reiterweg/Alleestr. hin zur Höhenstr. ähnlich der Linie 603. Die Buslinie new29524 stellt somit eine Zusammenlegung dieser beiden P10-Linien dar. Dadurch können die Kosten um 46 € gesenkt werden, andererseits entfällt im OPT-Netz für die Ein- bzw. Aussteiger im Bezirk Altes Rad eine direkte Verbindung zum Hauptbahnhof. Mit der 605 fahren 23 Personen ohne Umstieg zum Hauptbahnhof und 42 Personen erreichen Eiche vom Hauptbahnhof aus innerhalb von 36 Minuten 40 Sekunden. Mindestens 42 Minuten 6 Sekunden und ein Umstieg sind hingegen im OPT-Netz nötig. Im Gegenzug verbessert sich hier die Situation für Fahrgäste zwischen den Bezirken Rathaus und Brandenburger Vorstadt (18 PF). Trotz der relativ kurzen Entfernung sind diese im P10-Netz zu einem Umstieg gezwungen, so dass die durchschnittliche Fahrzeit von etwa 6 Minuten in keinem Verhältnis zum Umsteigeaufwand steht.

### **Buslinie 699**

Die letzten beiden Buslinien, die sich von denen des P10-Netzes unterscheiden, sind die new28256 und die new30369, die wir als Varianten einer einzigen neuen Linie auffassen. Diese beginnt im Haltepunkt Babelsberg/Post, verläuft Richtung Südosten und endet im Stern-Center. Zwischen Bhf Rehbrücke und Konrad-Wolf-Allee/Sternstr. verläuft der Bus 699 parallel zur neuen OPT-Linien. Da die optimierte Linie nicht nur eine Streckenverlängerung, sondern auch den Einsatz zweier Linienvarianten vorsieht, kommt es zu einer Kostenerhöhung von 201 €. Doch diese Investition lohnt sich. Denn wie Abbildung 2 links zeigt, wird eine direkte Verbindung zwischen mehreren Bezirkspaaren mit hoher Beförderungsnachfrage (rot) hergestellt. Diese PF können im P10-Netz nicht ohne Umstieg realisiert werden, da die 699 erst ab Rehbrücke verkehrt.

### **PASSAGIERSTRÖME**

Abbildung 2 zeigt rechts einen Vergleich der Personenfahrten ohne Umstiege im OPT- und P10-Netz aufgeschlüsselt nach Bezirken. In den grün markierten Bezirken weist das OPT-Netz eine höhere Anzahl umsteigefreier PF auf, in den rötlich gekennzeichneten das P10-Netz. Es ist ersichtlich, dass das OPT-Netz für eine größere Anzahl von Bezirken diesbezüglich von Vorteil ist und dass dieser Vorteil Bezirke betrifft, in denen die new-Linien verkehren. Obwohl nur 8 der insgesamt 41 in Potsdam verkehrenden ÖV-Linien (inklusive RE, HVG, BVG usw.) im OPT-Netz Veränderungen erfahren, kann man die Auswirkungen auf das Fahrverhalten der Passagiere im gesamten Netz beobachten. In Abbildung 2 rechts weisen z.B. die rot hervorgehobenen Strecken eine höhere Belastung im OPT-Netz auf, die blauen Strecken sind hingegen im P10-Netz stärker belastet.

### **BEWERTUNG**

Zusammenfassend ist festzustellen, dass das OPT-Netz alle Planungsvorgaben einhält und das P10-Netz in allen wesentlichen Kenngrößen verbessert. Das OPT-Netz ist insgesamt verkürzt und im Takt teilweise ausgedünnt, aber diese Einschränkungen können kompensiert werden bzw. betreffen nur Relationen mit geringer Nachfrage. Diese Optimierung hält einer Simulation mit VISUM stand.

Optimierung und Simulation sind natürlich immer nur so gut wie die zugrundeliegenden Daten. Ohne hier tiefer ins Detail zu gehen ist die Nachfragematrix ein Schwachpunkt. Selbst wenn man eine konstante Nachfrage annimmt, erschienen nicht alle Daten gleich aussagekräftig. Tatsächlich ändert sich aber natürlich die Nachfrage in Abhängigkeit vom Liniennetz. Eine Verkürzung des Tramnetzes kann z.B. zu einem Rückgang führen. Dieser Effekt ist in den Optimierungsmodellen noch nicht berücksichtigt. Überlegungen wie diese sind der Grund, warum ViP stellenweise bestimmte Linienführungen vorgenommen hat.

### **FAZIT**

In der Angebotsplanung für den öffentlichen Nahverkehr werden mathematische Optimierungsmethoden bisher nicht in nennenswertem Umfang eingesetzt. Das wird sich hoffentlich in Zukunft ändern. Der Vorteil von Optimierungstools ist die objektive Berücksichtigung aller verfügbaren Daten und die garantierte Einhaltung einer Vielzahl von Bedingungen. Wenn gute Daten zur

Verfügung stehen, können Linienpläne heute so optimiert werden, dass den Nutzern global gute Verbindungen geboten werden. Neue nachfragestarke Linien werden automatisch generiert, andere Verbindungen werden gestrichen, wenn die Nachfrage zu gering ist oder schnelle Alternativen zur Verfügung stehen, die Einhaltung von Vorgaben wird garantiert. Durch die Möglichkeit der Berechnung von Varianten wird die Ermittlung des richtigen Kompromisses zwischen Qualität und Kosten erleichtert. Mathematische Optimierung kann den Planer auf diese Weise wirksam unterstützen und den ÖV insgesamt attraktiver machen.

## REFERENZEN

- [1] Ralf Borndörfer, Martin Grötschel, and Ulrich Jaeger. Planungsprobleme im öffentlichen Verkehr. In Martin Grötschel, Klaus Lucas, and Volker Mehrmann, editors, *PRODUKTIONSFAKTOR MATHEMATIK – Wie Mathematik Technik und Wirtschaft bewegt*, acatech DISKUTIERT, pages 127–153. acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und Springer, 2008. ZIB Report 08-20.
- [2] Ralf Borndörfer, Martin Grötschel, and Marika Karbstein. Angebotsplanung im öffentlichen Nahverkehr. In *DFG Forschungszentrum MATHEON*, Projekt B15, 2006–2014. Webseite unter <http://www.zib.de/Optimization/Projects/TrafficLogistic/Matheon-B15/index.de.html>.
- [3] Ralf Borndörfer and Marika Neumann. Linienoptimierung – reif für die Praxis? In *HEUREKA '11*. FGSV Verlag, 2011. ZIB Report 10-20.
- [4] ViP Verkehr in Potsdam GmbH. Webseite unter [http://www.swp-potsdam.de/swp/de/verkehr/ueber-uns-vip/zahlen\\_und\\_fakten-vip/stzahlen\\_fakten\\_neu.php](http://www.swp-potsdam.de/swp/de/verkehr/ueber-uns-vip/zahlen_und_fakten-vip/stzahlen_fakten_neu.php), 2011.
- [5] ptv AG. Webseite unter [http://www.ptv.de/cgi-bin/traffic/traf\\_visum.pl](http://www.ptv.de/cgi-bin/traffic/traf_visum.pl).