



Foto: Tres Camenzind

Abb. 1: Haltestelle Zürich Flughafen mit Buslinie 768.

Fahrplan optimieren mittels Simulation

Die VBG Verkehrsbetriebe Glattal erproben Programm an einer Buslinie

Dipl.-Bauing. (ETH) Thomas Kreyenbühl, Dipl. Inform. (FH) Rüdiger Friebe; Glattbrugg

Die Ausgangslage

Die VBG-Linie 768 führt vom Bahnhof Oerlikon, einem großen S-Bahn-Knoten im Norden von Zürich, zum internationalen Flughafen Zürich. Sie ist mit 3.3 Mio Fahrgästen pro Jahr die am stärksten genutzte Buslinie der VBG. Aktuell wird diese Linie in einem 6,6-Minuten-Takt mit sechs Standardbussen befahren. Das Ziel ist, auf einen 7,5-Minuten-Takt mit fünf Kursen umzustellen, darauf jedoch Gelenkbusse einzusetzen. Dabei stellte sich die Frage, ob während der Morgen- und Abendspitze mit fünf Gelenkbussen ein zuverlässiger Betrieb im 7,5-Minuten-Takt angeboten werden kann oder ob auch dieser Takt sechs Fahrzeuge benötigt. In anderen Worten: Ist eine Umlaufzeit von 37,5 Minuten ($ZU = KF \times \text{Anz. Fzg.}$) während der Spitzenzeiten für einen stabilen Betrieb der Linie 768 ausreichend? Und ist sie dies auch an Tagen mit Bedingungen wie hohes Verkehrsaufkommen, schlechtes Wetter, überdurchschnittlich viele Fahrgäste et cetera.?

In Zürich sind die Ansprüche an einen zuverlässigen ÖV-Betrieb hoch. Eine Testphase unter laufendem Betrieb kam deshalb weder aus Kunden- noch aus Betreiberseite in Frage. Da beim vorliegenden Fall mit den zur Verfügung stehenden statischen Auswertungen keine eindeutigen Aussagen hinsichtlich der Betriebsstabilität gemacht werden konnten, schien der Versuch attraktiv, durch Simulation des künftigen Fahrplans unter Einbezug der aktuellen Verkehrsbelastungen verlässliche Aussagen zur Fahrplanstabilität zu gewinnen. Dabei war ein einfacher, kostengünstiger Simulationsansatz gefragt, mit dem der neue Fahrplan in verschiedenen Szenarien durchgespielt werden kann.

Pilot-Simulation als Beta User

Die Wahl der VBG fiel auf die Applikation „SIM“ von Connective, da diese einen neuen Simulationsansatz verfolgt, der gegenüber den herkömmlichen Ansätzen einen wichtigen Vorteil aufweist: Die

Nutzung von realen, also bereits gefahrenen und aufgezeichneten Ist-Daten. Für andere Simulationen muss der gesamte Fahrweg modelliert und mit sinnvollen betrieblichen Werten versorgt werden. Diese nicht-deterministischen Faktoren wie etwa Wetter, Individualverkehr et cetera haben große Auswirkungen auf den ÖPNV und stellen komplexe Anforderungen an eine Simulationslösung. „SIM“ bezieht über diese externen Einflussfaktoren hinaus auch die Ist-Daten der internen Faktoren wie Fahrerverhalten und Fahrgastaufkommen ein. Die Verwendung der bereits erhobenen Ist-Daten in der Applikation „SIM“ erschien den Verantwortlichen der VBG deshalb sinnvoll und versprach eine deutliche Reduktion der Vorbereitungszeit.

Baustellen – die Herausforderung

Die VBG erstellt ihre neuen Jahresfahrpläne aufgrund der statistischen Auswertungen

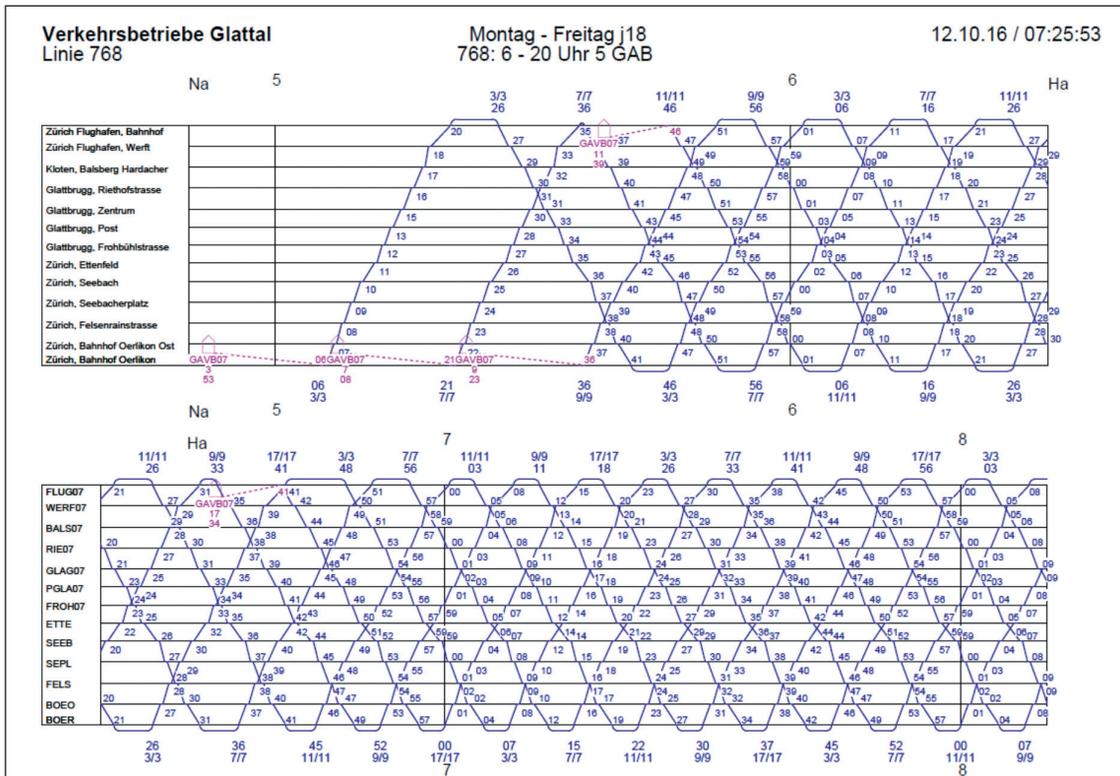


Abb. 2: Linie 768: Ausschnitt grafischer Fahrplan Morgenspitze. Kann dieser Fahrplan mit fünf Gelenkbussen im 7,5 Minuten-Takt stabil betrieben werden?

gen der Monate März bis Mai. Die über die Jahre gemachten Erfahrungen zeigen, dass bei Verwendung der Fahrzeitemenauswertungen der Monate März bis Mai ein – über das ganze Jahr betrachtet – stabiler Fahrplan entsteht.

Der schwierigste Teil bei einer Simulation ist stets die korrekte Simulation des Ist-Zustandes. Da im Jahr 2016 für die Monate März bis Mai aufgrund von zahlreichen Baustellen keine statistisch aussagekräftigen Daten vorlagen, musste auf den baustellenfreien Zeit-

abschnitt März bis Mai 2015 zurückgegriffen werden. Es stellte sich die Frage, ob die vom Leitsystem aufgezeichneten Ist-Daten 2015 noch vorlagen und in die Simulationsdaten eingeleitet werden konnten. Beide Fragen konnten mit ja beantwortet werden. Dabei

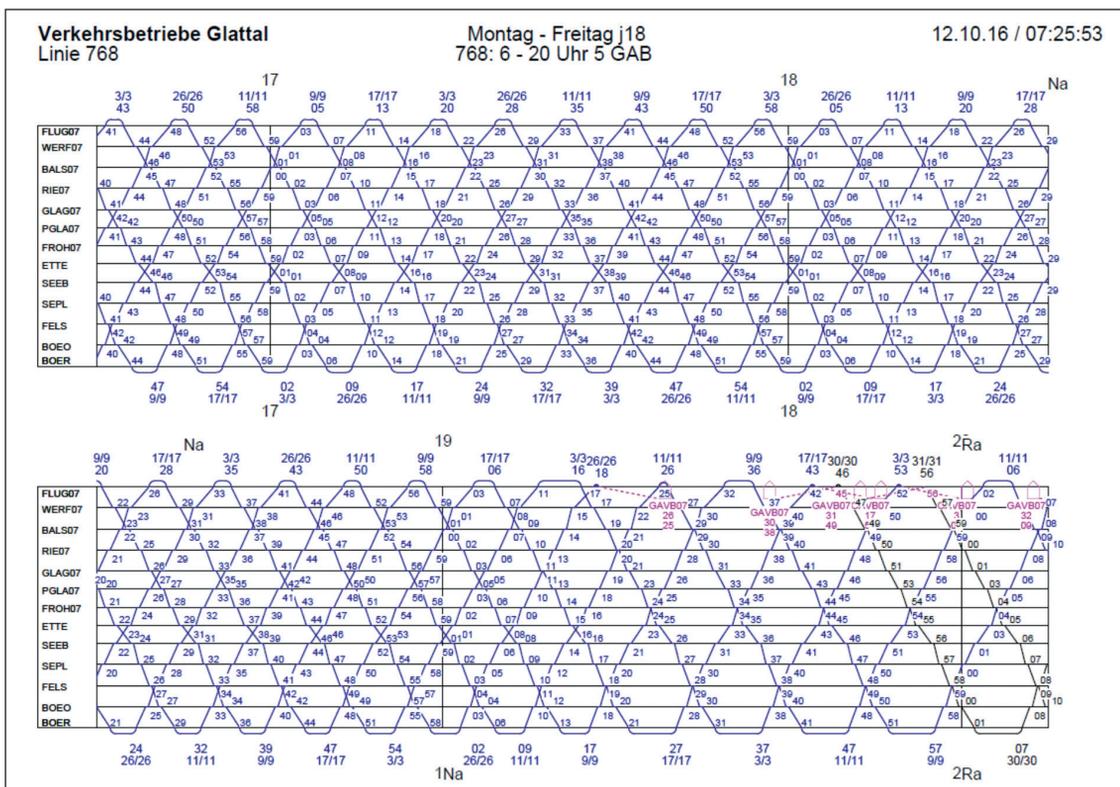


Abb. 3: Linie 768: Ausschnitt grafischer Fahrplan Abendspitze. Kann dieser Fahrplan mit fünf Gelenkbussen im 7,5 Minuten-Takt gefahren werden?

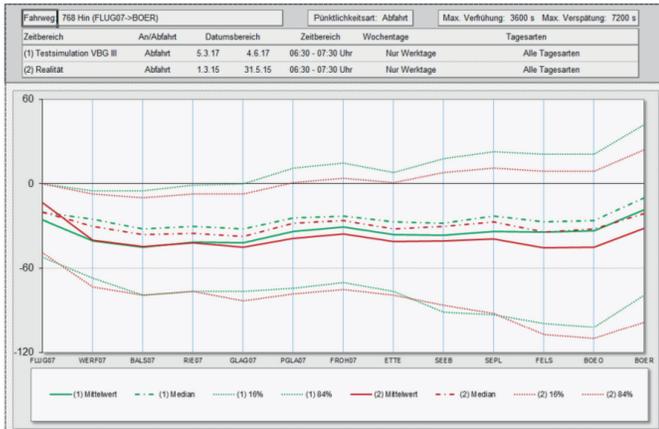


Abb. 4: Testsimulation Linie 768: Flughafen-Oerlikon 6.30 bis 7.30 Uhr.



Abb. 5: Testsimulation Linie 768: Oerlikon-Flughafen 6.30 bis 7.30 Uhr.

zeigte sich ein weiterer Vorteil von „SIM“: das herstellerunabhängige Einlesen der Ist-Daten in die Simulationssoftware. Liegen statistisch aussagekräftige Ist-Daten vor, kann mit der Modellierung des Ist-Fahrplans gestartet werden. Die von „SIM“ generierten Ist-Ergebnisse werden nun mit den effektiven Ist-Auswertungen verglichen. Stimmen die Simulationsergebnisse annähernd mit den Ist-Ergebnissen überein, ist das Modell kalibriert, und die Simulation des künftigen Fahrplans kann gestartet werden.

Im Simulationslauf zeichnen die simulierten Fahrzeuge – genau wie echte Fahrzeuge – kontinuierlich Haltestellenankünfte und Positionsdaten auf. Nach Abschluss des Simulationslaufs werden sie mit den normalen Statistikinstrumenten ausgewertet, wobei die Gegenüberstellung zwischen altem und neuem Fahrplan in einer einfachen Grafik dargestellt wird. Übersichtlich präsentiert, bilden diese belastbaren Ergebnisse eine gute Grundlage für die nachfolgende fachtechnische Beurteilung und Diskussion.

Die Simulationsergebnisse

Die Simulationsergebnisse zeigten, dass in der Morgenspitze der Fahrplan im 7,5-Minuten-Takt mit fünf Fahrzeugen stabil betrieben werden kann. Während der Abendspitze dagegen zeichnete sich eine deutlich stärkere Streuung der Fahrplanzeiten ab. Rund 20 Prozent der Fahrzeuge waren dabei so stark verspätet, dass es zu Problemen bei der Abfahrt der Folgefahrt kam. Ein stabiler Betrieb im 7,5-Minuten-Takt kann nur mit sechs Fahrzeugen gewährleistet werden. Unter den verschiedenen Lösungsmöglichkeiten, die anhand dieser aussagekräftigen Ergebnisse diskutiert wurden, entschied sich die VBG dafür, werktags in der Abendspitze den Fahrplan während zweier Stunden mit einem zusätzlichen Kurs zu verstärken. Der neue Fahrplan wird 2018 produktiv im Einsatz sein. Dann werden die aufgezeichneten Ist-Daten mit den Simulationsergebnissen verglichen und geprüft, wie nahe die Simulation an der Realität war. Die Projekt-Partner VBG und Connective sind gespannt darauf

zu erfahren, welche neuen Erkenntnisse dann aus allfälligen Diskrepanzen gezogen werden können.

Die Abbildungen 4 und 5 zeigen die SIM-Ergebnisse für die Morgenspitze der Linie 768 zwischen dem Flughafen und Oerlikon. Die grünen Linien zeigen die Ergebnisse der Simulation mit Kursreduktion, die roten Linien die Ist-Daten der Fahrzeuge aus 2015. Die Darstellungen stammen aus den Produkten „SIM“ und „OPAL“ von Connective. Die Testsimulation (grüne Linie) zeigt, dass die Medianverspätung in Oerlikon bei fast weniger als 60s liegt und die Busse in Oerlikon pünktlich abfahren können.

Die Abbildungen 6 und 7 zeigen die SIM-Ergebnisse für die Abendspitze der Linie 768 zwischen dem Flughafen und Oerlikon. Die Testsimulation (grüne Linie) zeigt, dass die Medianverspätung in Oerlikon bei fast 120 Sekunden liegt und 16 Prozent aller Kurse mit beinahe 240 Sekunden Verspätung in Oerlikon ankommen. Dies wirkt sich auch auf die Abfahrtpünktlichkeit in Oerlikon

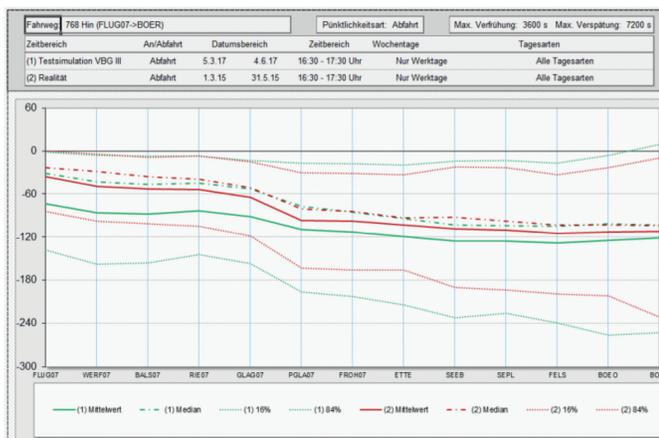


Abb. 6: Testsimulation Linie 768: Flughafen-Oerlikon 16.30 bis 17.30 Uhr.

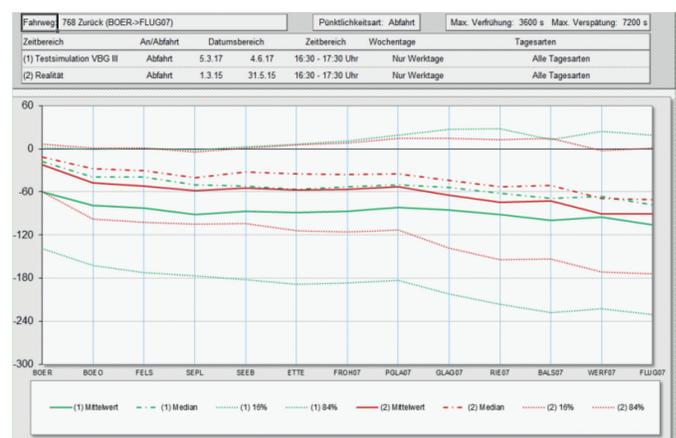


Abb. 7: Testsimulation Linie 768: Oerlikon-Flughafen 16.30 bis 17.30 Uhr.

aus. 50 Prozent aller Fahrzeuge fahren mit mehr als 60 Sekunden Verspätung ab.

Fazit

Der Simulationsansatz mit „SIM“ konnte auf einfache Weise aufzeigen, dass auf einer bestimmten Linie morgens der 7,5-Minuten-Takt mit fünf Fahrzeugen gefahren werden kann, am Abend jedoch sechs Fahrzeuge erforderlich sind. Gegenüber dem durchgehenden Einsatz von sechs Bussen lassen sich so jährlich immerhin CHF 50.000 einsparen, die in eine andere Linie investiert werden können. Für die VBG war der zu leistende Aufwand verhältnismäßig klein. Er umfasste die Bereitstellung des neuen Fahrplans, die Lieferung der Ist-Daten aus dem Leitsystem und die Diskussion der Ergebnisse mit Connective. Die VBG wird 2017 ein neues Beratungsprojekt mit Connective umsetzen, bei dem wiederum „SIM“ zur Anwendung kommt. Dabei wird es um die Beschleunigung einer Linie mittels Busspur gehen. Die VBG können sich vorstellen, „SIM“ künftig für die Verifizierung eines neuen Fahrplans selbst einzusetzen, um sichere Betriebsdaten bereits vor dem ersten gefahrenen Kurs zu erhalten.

Zusammenfassung/Summary

Fahrplan optimieren mittels Simulation

Um die Machbarkeit einer Kursausdünnung zu eruieren, haben sich die im Großraum Zürich-Nord tätige VBG (Verkehrsbetriebe Glattal AG) und die Schweizer Connective GmbH im Rahmen eines gemeinsamen Pilot-Projektes zusammengeschlossen. Dabei haben sie die von Connective entwickelte Simulationsapplikation SIM eingesetzt. Diese überzeugte die VBG, da sie bestehende Ist-Daten als Basis der Simulation nimmt. Die Ergebnisse – in Form von Vergleichsauswertungen – wurden gemeinsam analysiert und diskutiert. So fand die VBG innert weniger Wochen zu einem Fahrplan, der ihnen die nötige Sicherheit für den ansonsten risikobehafteten Eingriff gab.

Optimization of timetables by simulation

To evaluate the feasibility of reducing the number of vehicles of a certain busline per hour, the public transport services from the north of Zurich – Verkehrsbetriebe Glattal AG (VBG) – and the Swiss Connective Ltd. did start a common pilot project. Thereby they have used the simulation application «SIM» which was developed by Connective. The convincing aspect of this application for VBG was that the software uses real-time data as the basis of the simulation. The results came in the form of comparative analyses and were discussed and evaluated between the two parties. Within only a few weeks, VBG came to a feasible timetable which gave them the necessary certainty for this otherwise risky modification.



Zum Autor

Dipl.-Bauing. (ETH) Thomas Kreyenbühl (45) ist Leiter Angebot und stellvertretender Direktor der Verkehrsbetriebe Glattal AG (VBG). Er hat an der ETH Zürich von 1991 bis 1995 Bauingenieurwesen studiert, 1996 am Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme diplomiert und anschließend in einem privaten Verkehrsingenieurbüro gearbeitet. Seit 2000 ist er bei der VBG für sämtliche angebotsrelevanten Themen zuständig.



Zum Autor

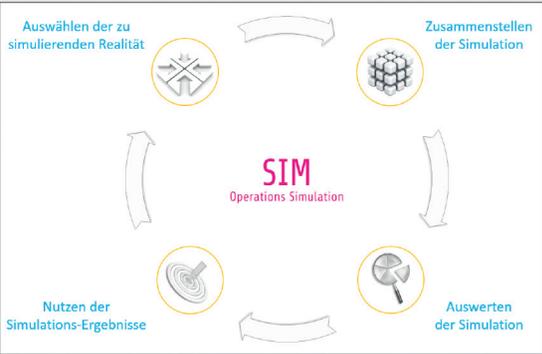
Dipl. Inform. (FH) Rüdiger Friebe (53) ist Gründer und Geschäftsführer der Connective GmbH. Das Schweizer IT-Unternehmen hat sich auf die Entwicklung innovativer Applikationen rund um die Nutzung von Ist-Daten spezialisiert. In seiner über 20-jährigen ÖV-Karriere wirkte Friebe unter anderem acht Jahre für die heutige Trapeze als Entwicklungsleiter des Leitsystems Vicos-LIO-1000.

Technische Herausforderung Simulation

Die Simulationssuite Connective „SIM“ nutzt aufgezeichnete Ist-Daten der Vergangenheit als Simulationsansatz. Der herstellerunabhängige Ansatz stellt sicher, dass „SIM“ Daten aus mehreren Quellen mit unterschiedlichen Formaten nutzen kann.

Für jede Simulation kann die verwendete Ist-Datenbasis neu festgelegt werden. Hiermit ist es möglich, unterschiedliche Rahmenbedingungen wie Urlaubszeit oder Wettereinfluss einfließen zu lassen. Als Fahrplan kann entweder der bestehende Fahrplan oder ein zukünftiger noch nicht produktiver Fahrplan verwendet werden. Dies eröffnet die Möglichkeit, alternative Lösungsansätze in der Planung zu bewerten. Als dritte Quelle werden betriebliche Veränderungen – sogenannte Simulationsmaßnahmen – berücksichtigt. In diesem Beispiel waren dies erwartete Unterschiede in Stand-, Fahrgastwechsel- und Fahrzeiten der neuen Fahrzeuge. Diese werden entweder empirisch ermittelt oder manuell vorgegeben.

Auf Basis dieser drei Informationsquellen lässt „SIM“ die virtuellen Fahrzeuge in einer Mikrosimulation fahren. Hierbei nutzt die Simulation auch weitergehende Erkenntnisse aus der verwandten Ist-Datenbasis, wie zum Beispiel individuelles Fahrerverhalten und bildet diese ab. Die virtuellen Fahrzeuge speichern während der Simulation – genau wie Ihre realen Pendanten – Ortungsinformationen ab, welche im Nachgang mit statistischem Werkzeug analysiert werden kann.



Die Simulationssuite „SIM“ befindet sich aktuell im Aufbau. Um ein betrieblich sinnvolles und belastbares Produkt zu entwickeln, arbeitet Connective im Rahmen von Beratungsprojekten an Fragestellungen mit Betrieben und nutzt zur Beantwortung der Problemstellungen „SIM“. Für das Erzielen von betrieblich belastbaren Ergebnissen ist die Zusammenarbeit mit den Fachexperten des Betriebs in einem agilen Projekt wichtig. Hierbei werden Zwischenergebnisse aus „SIM“ gemeinsam gesichtet, diskutiert, bewertet und das weitere Vorgehen abgestimmt. Im beschriebenen Projekt nahm die VBG die Expertenrolle wahr und gab immer wieder wichtige Impulse für betriebliche Situationen, wie beispielsweise die genauen betrieblichen Möglichkeiten der Fahrzeuge an den Wendehaltstellen.

In einem nächsten Schritt soll „SIM“ von den Betrieben eigenständig für wiederkehrende Fragestellungen eingesetzt werden können, um solche und weitere Fragen beantworten zu können:

- Ist mein geplanter Fahrplan stabil?
- Werden die Anschlüsse weiterhin gehalten?
- Welche Auswirkungen hat die neue Baustelle, der neue Anschluss, die Tempo-30 Zone, ...?
- Was bringt eine neue oder die Anpassung einer bestehenden LSA?