

Kombinierte betriebliche und verkehrliche Bewertung von Bahn-Angeboten

Franke, Burkhard¹, Lieberherr, Johannes²

¹ trafIT solutions gmbh

² ttools gmbh

Zusammenfassung

Bahnangebote werden heute sowohl aus der betrieblichen Pünktlichkeits- als auch aus der verkehrlichen Nachfragesicht bewertet. Es existieren aber keine etablierten Methoden, um in Bewertungen beide Sichten integral zu berücksichtigen.

Im Rahmen einer Studie für die Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) wurde untersucht, wie die bei SBB etablierten Verfahren zur Pünktlichkeitsprognose und zur Nachfrageprognose gekoppelt werden können. Damit soll das Qualitätskriterium «Pünktlichkeit» aus Kundensicht inklusive der Anschlusssicherheit auf der gesamten Reisekette abgebildet werden und die Fahrplanqualität umfassend bewertet werden.

Keywords: Fahrplanqualität; Pünktlichkeit; Nachfrage; Fahrplanbewertung; Angebotsplanung

1 Ausgangslage

Die Bewertungen von Angebotskonzepten bei Bahnen berücksichtigen heute üblicherweise entweder die verkehrliche oder betriebliche Sicht. Die Kombination der beiden Aspekte wird in der Regel vernachlässigt bzw. ignoriert, obwohl unbestritten ist, dass sie sich gegenseitig stark beeinflussen.

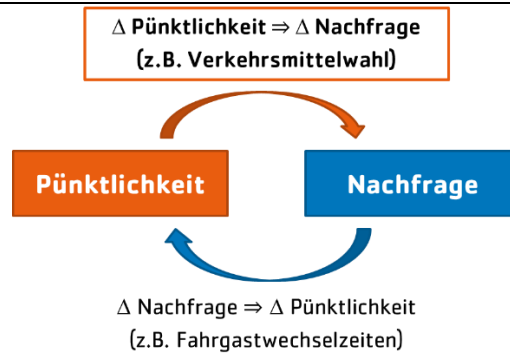


Abbildung 1: Wechselwirkung von Pünktlichkeit und Nachfrage

Vor dem Hintergrund, dass Bahnen als Gesamtsysteme wahrgenommen werden und auf maximalen Kundennutzen ausgerichtet sein müssen, ist eine Bewertung, welche sowohl betriebliche als auch verkehrliche Aspekte berücksichtigt, wünschenswert.

Weiterhin umfasst die verkehrliche Bewertung in der Regel auch eine monetäre Bewertung, bei der Kosten und Erlöse von Angebotskonzepten ermittelt werden. Bei betrieblichen Untersuchungen werden betriebswissenschaftliche Kennzahlen ermittelt sowie gegebenenfalls die Kosten von betrieblichen oder infrastrukturellen Massnahmen. Die direkte monetäre Bewertung der betrieblichen Qualität ist in Ansätzen entwickelt, beispielweise in [1] oder [2], es besteht jedoch keine einheitliche Ermittlung von Kosten und Nutzen wie bei der verkehrlichen Bewertung, zudem widersprechen sich die Ansätze teilweise erheblich. Eine erlössteigende Wirkung von Infrastrukturmassnahmen, die nicht zur Angebotsverbesserung, sondern «nur» der Pünktlichkeitsverbesserung dienen, wird dabei bereits in den Bewertungsmodellen ignoriert, und pünktlichkeitssteigernde Massnahmen treten bei einer monetären Bewertung oft nur auf der Kostenseite auf.

Vor diesem Hintergrund beauftragte SBB Personenverkehr in 2016 eine Studie mit dem Ziel, eine Methodik für die Kombination der betrieblichen und verkehrlichen Bewertung von Angebotskonzepten zu entwickeln und diese mit den bei SBB genutzten Verfahren zur Anwendungsreife zu bringen.

2 Methoden

Zur Pünktlichkeitsprognose wird bei SBB Infrastruktur das Verfahren OnTime zur netzweiten Simulation von Fahrplänen eingesetzt. Zur Nachfragebewertung betreibt SBB Personenverkehr die Verkehrsmodellierungsumgebung SIMBA (siehe [3]), deren Kern die Software Visum ist.

2.1 Bewertung der betrieblichen Qualität

Betriebliche Bewertungen zielen darauf ab, die Fahrbarkeit, Pünktlichkeit bzw. allgemein: die betriebliche Qualität eines Fahrplanes zu beurteilen. Für die Analyse von netzweiten Gesamtangeboten setzt SBB Infrastruktur seit 2011 das Tool OnTime ein. OnTime nutzt einen in [4] beschriebenen stochastischen Ansatz zur Abbildung des Verspätungszustandes der Züge mittels Verteilungen. Auch Störungen (Primärverspätungen) wirken als Verspätungsverteilungen auf die Züge; über Konflikte oder Anschlüsse, Wenden wird die Verspätung mittels Faltung im System fortgepflanzt. Anders als bei deterministischen Simulationen kann so das Verspätungsverhalten eines Jahresfahrplans über das gesamte Netz abgebildet werden.

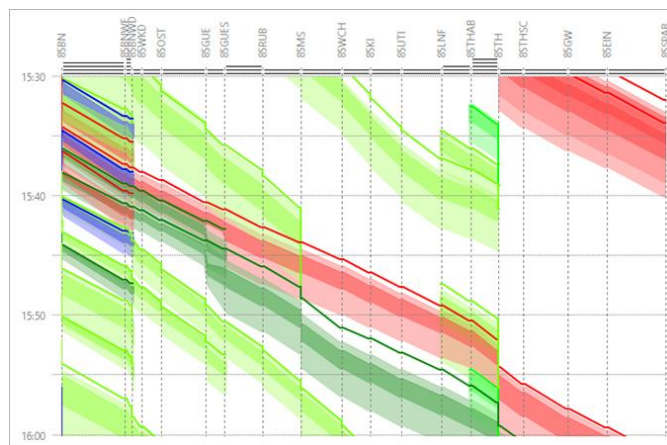


Abbildung 2: Visualisierung der Verspätungsverteilungen in einem Bildfahrplan

OnTime wird bei SBB im Rahmen des Stabilo-Prozesses zur Prognose der Betriebsqualität und der Erhaltung und Verbesserung der Pünktlichkeit im gesamten Planungsspektrum von Jahresfahrplänen bis zur strategischen Langfristplanung eingesetzt. Dabei bietet das Verfahren immer die Möglichkeit, die Auswirkungen von betrieblichen und infrastrukturellen Massnahmen auf das Gesamtnetz zu bestimmen und bei Kalibrierung mit Ist-Daten eine realistische Abschätzung der zu erwartenden Betriebsqualität zu liefern. Verschiedenste Massnahmen können dadurch jeweils einzeln oder in Kombination, aber immer einheitlich in ihrer Pünktlichkeitswirkung im Gesamtnetz bewertet und verglichen werden.

Eine solche Analyse ist besonders bei strategischen Planungen von grossem Nutzen. Daher dient OnTime bei den Planungen des Strategischen Entwicklungsprogramms Bahninfrastruktur (STEP) in der Schweiz der Bewertung der Fahrplanstabilität, um die sehr hohe Qualität bei der Pünktlichkeit auch bei der zukünftigen Angebotsausweitung

zu erhalten. Nach Begutachtung durch das Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme der ETH Zürich ist OnTime als Bewertungstool der STEP-Planungen durch das Bundesamt für Verkehr (BAV) anerkannt. Hierfür werden in einem ersten Schritt die Primärverspätungen des Betriebsjahres 2015 ermittelt [5], um ein zu erwartendes Störungsniveau im Netz - differenziert für jede Strecke bzw. jeden Halt - zu erhalten. Die Simulationsergebnisse für den Fahrplan 2015 auf Basis dieser Eingangsdaten werden mit den realen Pünktlichkeitswerten 2015 verglichen und Eingangsdaten gegebenenfalls korrigiert. Die kalibrierten Eingangsdaten dienen als Basis für die Bewertung der Ausbauschritte 2025 und 2030 bzw. von pünktlichkeitsrelevanten Massnahmen in diesen Ausbauschritten (Abbildung 3).

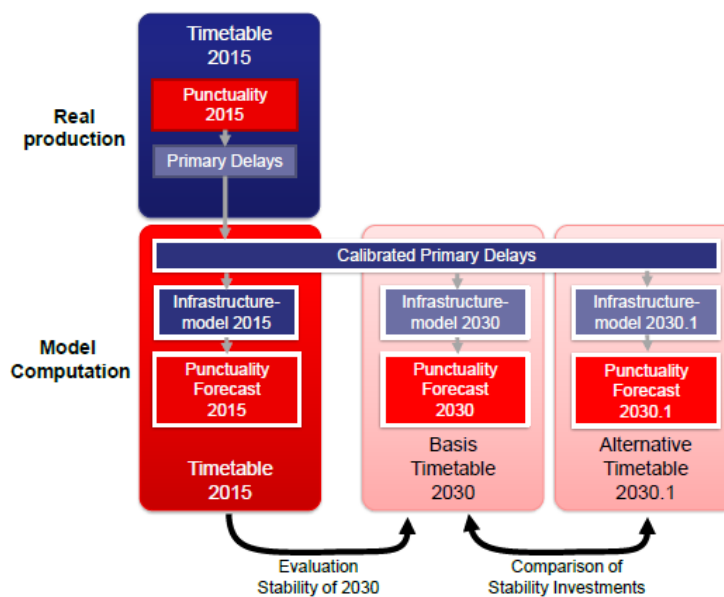


Abbildung 3: Bewertung der STEP-Konzeption 2030 mit kalibrierten Eingangsdaten [6]

Die in Kapitel 4 beschriebene Anwendung des kombinierten Verfahrens nutzt reale Beispiele aus diesen Planungen zu den Ausbauschritten.

2.2 Verkehrliche Bewertung

Verkehrliche Bewertungen von Fahrplänen zielen darauf ab, die Veränderung der Nachfrage bei Veränderung des Angebots (Fahrplan) zu prognostizieren. Dabei werden klassischerweise die Kenngrößen Reisezeit, Bedienungshäufigkeit und Umsteigehäufigkeit berücksichtigt. Seit einigen Jahren wird bei mehreren Bahnen auch die Auslastung der Züge vermehrt berücksichtigt. Üblicherweise wird in den Bewertungen davon ausgegangen, dass im System keine Verspätungen existieren, d.h. der in der

Modellierung hinterlegte Fahrplan wird als deterministisch angeschaut. Dies ist insbesondere vor dem anerkannten Hintergrund, dass die Zuverlässigkeit des Systems eine signifikante Entscheidungsgrösse ist, problematisch (siehe z.B. [7]).

Bei verkehrlichen Bewertungen wird zwischen der eigentlichen Nachfragemodellierung und der Verkehrsumlegung zu unterscheiden:

- In der Nachfragemodellierung werden die Quell-Ziel-Matrizen berechnet, entweder als absolute Größen oder als Differenzmatrizen, welche einer Ausgangsmatrix hinzuaddiert werden. In vielen Modellen geschieht die Nachfragemodellierung multimodal, typischerweise werden dabei der MIV und der ÖV modelliert. Das Standardmodell zur Berechnung von Quell-Ziel-Matrizen besteht aus den Schritten Verkehrserzeugung (wie viel Quell- und Zielaufkommen pro Bezirk), Verkehrsverteilung (wie viel Quell-Ziel-Aufkommen zwischen den Bezirken) und Verkehrsaufteilung (Modal-Split). In den Verkehrsmodellen der Bahnen, z.B. in SIMBA bei SBB Personenverkehr, kommen jedoch häufig auch Elastizitätenmodelle zum Einsatz, wo via Elastizitäten aus der Veränderung der Kenngrößen direkt auf die Änderung der Input-Matrix geschlossen wird ([3], [8]). Bei SBB Personenverkehr ist die Input-Matrix aus den Frequenzbefragungen und den Belegungszählungen abgeleitet.
- Die Verkehrsumlegung legt im ÖV eine bestehende Quell-Ziel-Matrix auf ein bestehendes Fahrplanangebot um. Damit ist es möglich, auch für zukünftige Fahrplanszenarien Aussagen zu den Belegungen pro Zug und Abschnitt zu machen. Dies ist das Ergebnis, welches von den Eisenbahnverkehrsunternehmen zur Abschätzung des Erlöses und auch zur Berechnung des Rollmaterialbedarfs verwendet wird.

3 Kopplung der Methoden

Beide Verfahren ähneln sich darin, dass sie eine Betrachtung des gesamten Netzes bzw. des gesamten Bahnangebots vornehmen. Die Grundidee der Kopplung besteht darin, dass in Visum die Sicht der Bahnkunden auf die in OnTime bereitgestellte betriebliche Qualität bestimmt wird. Hierfür wird fahrplanscharf für jede Quelle-Ziel – Verbindung in Visum die korrespondierende Zugverbindung in OnTime bestimmt. Die in OnTime berechneten mittleren Verspätungen und die Anschlusswahrscheinlichkeiten bilden dabei die Situation ab, die ein Bahnkunde – zumindest im Erwartungswert – erfährt. Neben der zu erwartenden Verspätung der geplanten Verbindung ist aus Kundensicht insbesondere

das Risiko eines Anschlussbruchs inkl. der daraus entstehenden Konsequenzen für die Verspätung am Zielbahnhof zu beachten.

3.1 Realisierung

Die in OnTime angewandte Logik der stochastischen Verspätungsfortplanung zwischen den Zügen lässt sich in natürlicher Weise auf die Verbindungen erweitern, indem bei jedem Umsteigevorgang die Verspätungsverteilung des ankommenden (zubringenden) Zuges mit der Verspätungsverteilung des abfahrenden (wegbringenden) Zuges kombiniert wird. Dabei ist zu beachten, dass bei zu grosser Verspätung des zubringenden Zuges Anschlussbrüche auftreten können und sich in diesen Fällen die Verbindung ändert und sich meist grössere Verspätungen am Zielbahnhof ergeben. Für jede Verbindung aus Visum wird mittels der Anschlusswahrscheinlichkeiten und den Verspätungsverteilungen der Zugsankünfte aus OnTime eine Verspätungsverteilung für die Gesamtverbindung am Zielbahnhof berechnet, wobei durch Anschlussbrüche entstehende Verspätungen fahrplangenau berücksichtigt sind. Mit Hilfe dieser Verspätungsverteilung pro Verbindung können dann Kenngrössen für die Zuverlässigkeit pro Verbindung und aggregiert pro Quell-Ziel-Relation berechnet werden. Durch Integration dieser Kenngrössen in die Widerstandsfunktion des Verkehrsmodells wird die Wirkung von Veränderungen der Pünktlichkeit auf die Nachfrage berechnet.

Abbildung 4 veranschaulicht die im Rahmen dieser Studie durchgeführten Arbeiten:

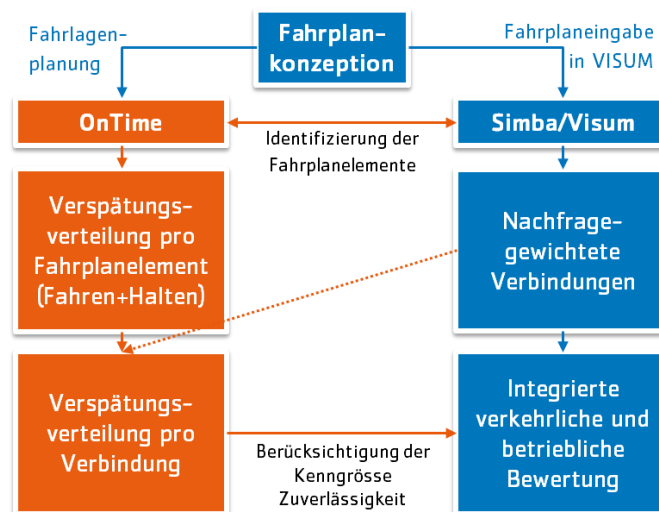


Abbildung 4: Flussschema des im Rahmen dieser Studie entwickelten Modells

Auf der obersten Ebene der strategischen Fahrplanplanung der SBB existiert die zwischen dem BAV und den SBB-Divisionen abgestimmte Fahrplankonzeption. Diese liegt

zumeist in Form einer Netzgrafik im PDF-Format vor und entspricht dem deterministischen Planfahrplan, welcher bei SBB Personenverkehr in Visum mit kommerziellen Zeiten minutenscharf und bei SBB Infrastruktur mit betrieblichen Zeiten zehntelminutenscharf digitalisiert ist. Im Rahmen von STEP erfolgt eine verkehrliche Bewertung mit dem Bewertungssystem SIMBA bei SBB Personenverkehr und eine betriebliche Bewertung mit OnTime bei SBB Infrastruktur. In einer idealen Modellwelt sind die in beiden Tools umgesetzten Fahrpläne identisch, in der realen Planung müssen die jeweiligen Entsprechungen zuerst identifiziert, was auf Grund von unterschiedlichen Codierungen nicht trivial ist, und etwaige Differenzen geklärt werden.

Die für diese Studie relevanten Resultate der beiden Modellierungen sind auf der einen Seite die Verbindungen aus Visum und auf der anderen Seite die Verspätungsverteilungen der Zugsankünfte sowie die Anschlusswahrscheinlichkeiten aus OnTime.

In einem ersten Schritt «Verspätungsverteilung pro Verbindung» wird berechnet, welche alternativen Verbindungen im Falle von Anschlussbrüchen entstehen, wobei hier fahrplanscharf Verbindungssuchen durchgeführt werden. Zweitens wird pro Verbindung die Verspätungsverteilung unter Berücksichtigung von Anschlussbrüchen und deren Wahrscheinlichkeiten berechnet.

Im einem weiteren Schritt werden die berechneten Verspätungsverteilungen pro Verbindung resp. Quell-Ziel-Relation zurück ins Verkehrsmodell gebracht und dort in Reisezeitäquivalente umgerechnet resp. in eine allgemeine Widerstandsfunktion integriert, sodass sie wie die anderen Kenngrößen in der Nachfragemodellierung verwendet werden können.

3.2 Beispiel

Für die Reise von Basel nach Martigny ist z.B. eine Verbindung (Basel ab 13:06, Martigny an 16:09) mit Umstieg in Olten und Lausanne möglich.

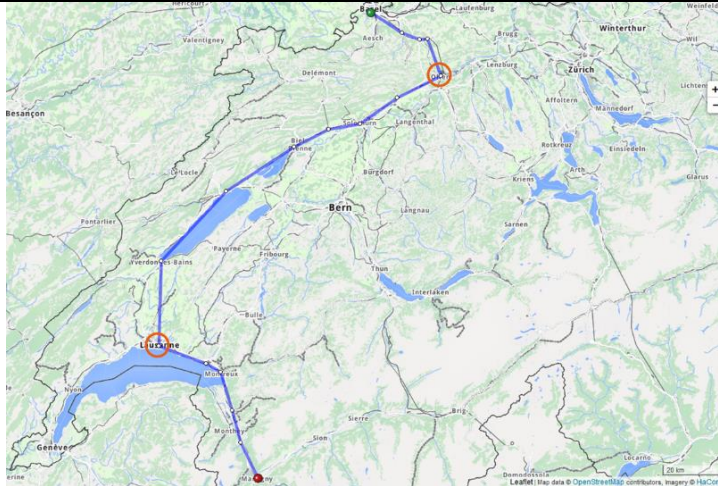


Abbildung 5: Beispiel-Verbindung Basel - Martigny

Die geplante Verbindung hat bei hoher Anschlusswahrscheinlichkeit in Olten (98%) und Lausanne (91%) gemäß der Prognoserechnung eine erwartete mittlere Verspätung in Martigny von 44 Sekunden.

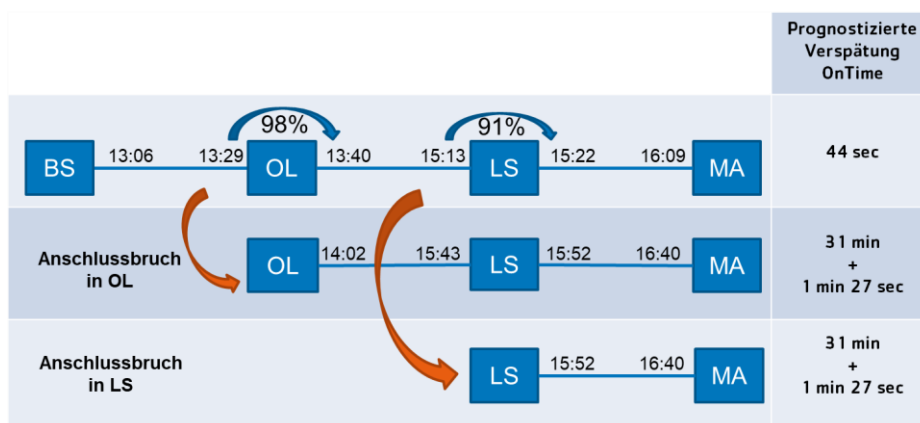


Abbildung 6: Beispielverbindungen Basel - Martigny

Im Falle eines Anschlussbruchs in Olten oder in Lausanne müssen spätere Anschlusszüge genommen werden, die eine 31 Minuten längere planmäßige Reisezeit sowie gemäß der Prognoserechnung eine erwartete mittlere Verspätung von 1 Minute und 27 Sekunden haben. In $98\% \cdot 91\% = 89\%$ der Fälle beträgt die mittlere Verspätung 44 Sekunden, in 11% der Fälle beträgt die zu erwartende Verspätung 32 Minuten und 27 Sekunden.

3.3 Mathematische Beschreibung

Berechnung der Verspätungsverteilung pro Verbindung

Die zu erwartenden Verspätungen gehen mitsamt ihrer jeweiligen Wahrscheinlichkeit in die Nachfragebewertung ein. Die entsprechende kumulierte Verspätungsverteilung $\overline{cdf}$ berechnet sich zu

$$\overline{cdf} = p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_n \cdot cdf + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \overline{p}_{ij} \cdot \overline{cdf}_{ij}$$

wobei n die Anzahl der Umsteigepunkte auf der Verbindung, p_i die Anschlusswahrscheinlichkeiten im Umsteigepunkt $1 \leq i \leq n$, cdf die kumulierte Verspätungsverteilung der geplanten Verbindung ist und die Grössen m_i , $\overline{p}_{ij}$ resp. $\overline{cdf}_{ij}$ die Konsequenzen von Anschlussbrüchen im Umsteigepunkt i messen.

Berechnung der Nachfrageveränderungen bei Pünktlichkeitsveränderungen

Die Bestimmung der Nachfrage in SIMBA berücksichtigt derzeit keine Verspätungen bzw. Anschlussbrüche und erfolgt mit folgendem Direct-Demand-Ansatz (siehe [8]):

$$D_{Var} = D_{Ref} \cdot \left(\frac{TT_{Var}}{TT_{Ref}} \right)^{\epsilon_{TT}} \cdot \left(\frac{T_{Var}}{T_{Ref}} \right)^{\epsilon_T} \cdot \left(\frac{C_{Var}}{C_{Ref}} \right)^{\epsilon_C}, \text{ mit}$$

- D_{Ref} Nachfrage im Referenzkonzept
- D_{Var} Nachfrage in der Variante
- TT_{Var} resp. TT_{Ref} Reisezeit im Referenzkonzept bzw. der Variante
- T_{Var} resp. T_{Ref} Verbindungshäufigkeit/Taktintervall im Referenzkonzept bzw. der Variante
- C_{Var} resp. C_{Ref} Anzahl Umstiege im Referenzkonzept bzw. der Variante
- ϵ_{TT} , ϵ_T resp. ϵ_C Elastizitäten der Nachfrage bezüglich Reisezeit, Verbindungshäufigkeit/Taktintervall und Umsteighäufigkeit

Die Berücksichtigung der betrieblichen Qualität erfolgt, indem für jede Quell-Ziel-Relation die betriebliche Qualität – im Folgenden als reliability bezeichnet – als Reisezeitäquivalent berechnet wird. Entsprechend den obigen Ausführungen berechnet sich diese reliability aus:

- Mittleren Verspätung, falls kein Anschlussbruch auftritt
- Wahrscheinlichkeit der möglichen Anschlussbrüche
- Mittleren Verspätung, falls ein Anschlussbruch auftritt

Die Übertragung von Veränderungen der reliability auf die Nachfrage erfolgt in natürlicher Erweiterung von SIMBA mittels Elastizitätenansatz:

$$D_{Var} = D_{Ref} \cdot \left(1 + \frac{\Delta reliability}{TT_{Ref}} \right)^{\epsilon_{TT}}$$

Die reine Reisezeitdifferenz kann dabei im Falle von Verspätungen gegenüber der Planreisezeit mit „Strafzuschlägen“ oder mittels Gewichtung der Verspätung korrigiert werden, um die Kundenreaktion auf eine Verspätung abzubilden.

Ein wichtiger Punkt bei der Interpretation der betrieblichen Qualität als Reisezeitäquivalent spielt das hinterlegte/angenommene Verhältnis zwischen Veränderungen von Verspätungen zu Veränderungen von Reisezeiten. Im Rahmen der hier beschriebenen Studie wurde dazu auf bestehende aktuelle Stated-Preference-Studien zurückgegriffen, welche dieses Verhältnis explizit schätzen ([7], [9]). Da die sich aus diesen Studien ergebenden Werte nicht eindeutig sind, wurde in dieser Arbeit mit verschiedenen Annahmen für dieses wichtige Parameterverhältnis gerechnet und entsprechende Sensitivitäten ausgewiesen.

4 Anwendung und Überprüfung

Das beschriebene Verfahren soll anhand von Beispielfällen erprobt werden. Als Anwendungsfälle wurden Szenarien der Untersuchung der STEP Ausbauschritte ausgesucht, da hierfür sowohl Visum-Planfälle als auch OnTime-Resultate vorlagen.

4.1 Variante 1: Maßnahme mit netzweiter Wirkung

In diesem Szenario ist pauschal eine Erhöhung der Wartefrist bei allen Anschlüssen um 30 Sekunden gegenüber dem Referenzszenario unterstellt. Eine solche Massnahme verbessert einerseits den Anslusserreichungsgrad, erhöht gleichzeitig auch die Verspätungsübertragung über Anschlüsse und gefährdet daher Anschlüsse über eine niedrigere Gesamtpünktlichkeit.

Bei den gewählten Parametern steigt der nicht nachfragegewichtete Anslusserreichungsgrad netzweit von Referenz zu Variante 1 um rund 0.5%.

Die 3-Minuten-Pünktlichkeit fällt netzweit von Referenz zu Variante 1 um 2.4% im FV und 1.5% im RV, die regionale Verteilung zeigt die folgende Darstellung für den Gesamt-Personenverkehr.

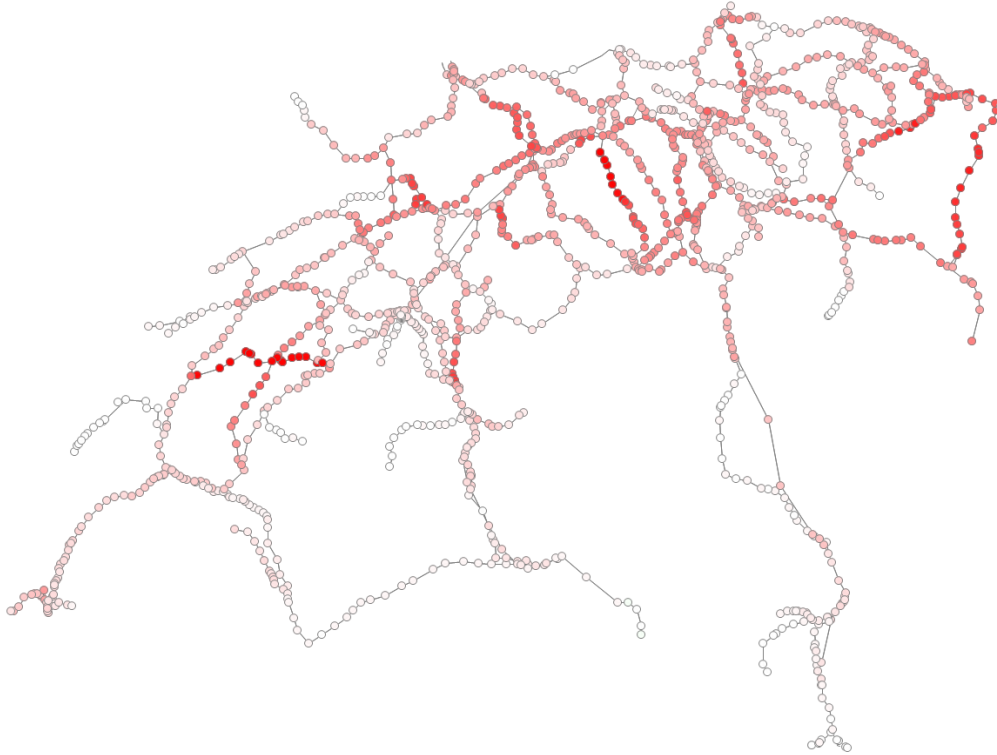


Abbildung 7: Differenz der Verspätungen (Erwartungswert); Rot: Variante 1 mit mehr Verspätung

Die folgende Abbildung zeigt die Nachfrage-Auswirkung als Differenzplot. Es ist ersichtlich, dass sich die Nachfragewirkung über das gesamte Normalspurnetz verteilt, alle ersichtlichen Werte sind rot, d.h. negativ. Die Wirkungen sind aber durchaus differenziert und nicht deckungsgleich zu den Pünktlichkeitsdifferenzen.

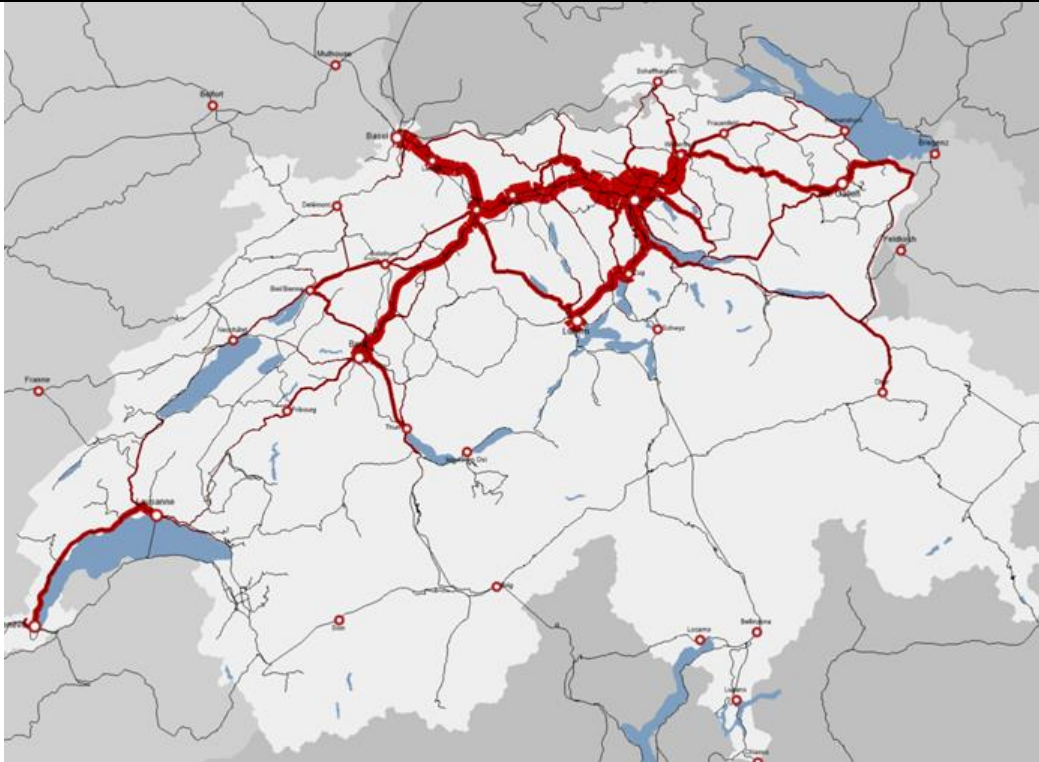


Abbildung 8: Nachfragewirkung der Maßnahme in Variante 1

4.2 Variante 2: Maßnahme mit lokaler Wirkung

Die derzeitige Gleistopologie in Schaffhausen erlaubt keine parallele Einfahrt aus Neuhausen über die Streckengleise 855 und 955 nach Gleis 2 und 3.

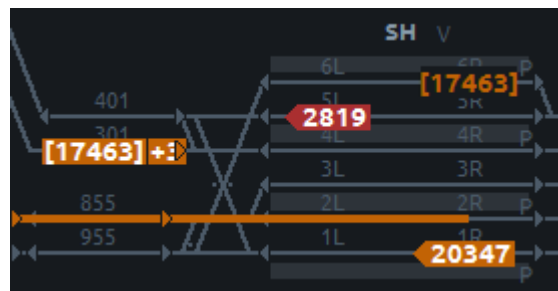


Abbildung 9: Gleistopologie in Schaffhausen

Die folgende Abbildung zeigt die Differenz der Verspätungen mit bzw. ohne die parallele Fahrmöglichkeit im Bahnhof. Die Wirkung ist begrenzt, im untersuchten Fahrplankonzept aber bis in den Knoten Zürich messbar.



Abbildung 10: Differenz der Verspätungen (Erwartungswert)

Wie nicht anders zu erwarten, ist die Nachfragewirkung vor allem im Raum zwischen Schaffhausen und Zürich erkennbar. Bei detaillierter Betrachtung wird jedoch ersichtlich, dass die Maßnahme durchaus auch auf andere Korridore abstrahlt, wie aus der folgenden Abbildung ersichtlich ist. Die positiven Nachfrage- resp. Ertrags-Effekte der Maßnahme können über den Infrastruktur-Lebenszyklus den entsprechenden Infrastrukturkosten gegenübergestellt werden, womit eine Kosten-Nutzen-Betrachtung ermöglicht wird.

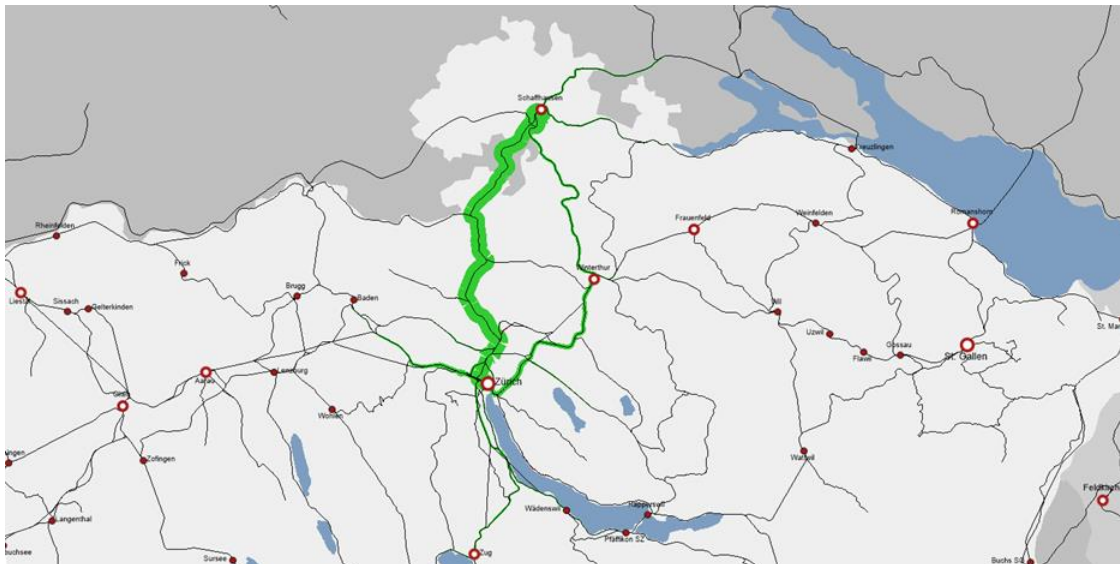


Abbildung 11: Nachfragewirkung der Maßnahme in Variante 2

5 Zusammenfassung

Angebotskonzepte in der Eisenbahnplanung werden heute sowohl aus der betrieblichen Pünktlichkeits- als auch aus der verkehrlichen Nachfragesicht bewertet. Für integrierte Bewertungen, welche beide Sichten integral berücksichtigen, gibt es heute noch keine etablierten Methoden. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund, dass Eisenbahnsysteme immer stärker auf den Kundennutzen optimiert werden, problematisch. Z.B. ist es mit den heutigen Methoden nicht direkt möglich, einer Infrastrukturmassnahme zur Steigerung der Stabilität nicht nur Kosten, sondern auch einen monetären Nutzen zuzuordnen.

Im Rahmen dieser Studie wurde ein Ansatz entwickelt, mit dem die Resultate der betrieblichen Pünktlichkeitsbewertung mit der Software OnTime in die verkehrliche Nachfragebewertung mit der Software Visum integriert werden können. Dabei wird im ersten Schritt für jede Reise (Verbindung) die Pünktlichkeit berechnet. Die Auswirkung von Anschlussbrüchen auf die Pünktlichkeit wird dabei fahrplanscharf berücksichtigt. Im zweiten Schritt erfolgt die Modellierung der Wirkung von Pünktlichkeitsveränderungen auf die Nachfrage. Der Ansatz wurde prototypisch implementiert und anhand von zwei realen Anwendungsfällen geprüft.

Die Resultate der Berechnungen sind erfreulich: Die Ergebnisse sind nach fachlicher Prüfung plausibel. Die «Messgenauigkeit» erlaubt sogar eine Bewertung von lokalen Infrastrukturmassnahmen, sodass die Investitionskosten und die Effekte auf die Erträge in ein Verhältnis gesetzt werden können und eine integrale Kosten-Nutzen-Betrachtung als Basis für Investitionsentscheide ermöglicht wird.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es mit dem hier entwickelten Verfahren gelungen ist, betriebliche Massnahmen, z.B. zur Steigerung der Stabilität, verkehrlich zu bewerten. Damit können Aussagen auch zum Kundennutzen bzw. finanziellen Nutzen eines pünktlichkeitssteigenden Infrastrukturausbaus gemacht werden. Damit ist es möglich, ein ÖV-Angebotskonzept sowohl unter betrieblichen Qualitätsaspekten als auch nach verkehrlicher Wirkung integriert zu bewerten.

Literatur

- [1] T. Ackermann, Die Bewertung der Pünktlichkeit als Qualitätsparameter im Schienenpersonenverkehr auf Basis der direkten Nutzenmessung, Dissertation. Verkehrswissenschaftliches Institut an der Universität Stuttgart, 1998.
- [2] Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Verkehr BAV, „Leitfaden STEP Ausbauschritt 2030, Erforderliche Inputdaten von Transportunternehmen und Planungsregionen für die Bewertung von Modulen,“ Bern, 2015.
- [3] A. Olesen, P. Bützberger und J. Lieberherr, „Modellierung und Bewertung von Fahrplanangeboten der Zukunft,“ *Schweizer Eisenbahn-Revue*, pp. 16-19, 01 2016.
- [4] T. Büker und B. Seybold, „Stochastic modelling of delay propagation in large networks,“ *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 2012.
- [5] H. Labermeier, „On the Dynamic of Primary and Secondary Delay,“ in *Proceedings of IAROR*, Kopenhagen, 2013.
- [6] T. Graffagnino und H. Labermeier, „A Definition Of Timetable Stability For A Long-term Timetable,“ in *Computers in Railways XV*, Southhampton, 2016.
- [7] P. Fröhlich, „Einfluss der Verlässlichkeit der Verkehrssysteme auf das Verkehrsverhalten,“ Bundesamt für Strassen ASTRA, Bern, 2014.
- [8] W. Scherr und P. Bützberger, „Calibration of the Swiss Rail Model Using Longitudinal Demand Observation,“ in *Conference paper STRC 2016*, Ascona, 2016.
- [9] K. W. Axhausen, A. Glemser, C. Jödden, A. Sauer, I. Ehreke, S. Hess, K. Nagel und C. Weis, „Ermittlung von Bewertungsansätzen für Reisezeiten und Zuverlässigkeit auf der Basis eines Modells für modale Verlagerungen im nicht-gewerblichen und gewerblichen Personenverkehr für die Bundesverkehrswegeplanung,“ Zürich, 2015.

Autoren**Franke, Burkhard**

Dipl.-Ing Verkehrswesen TU Berlin

Partner trafIT solutions gmbh

franke@trafit.ch

**Lieberherr, Johannes**

Geschäftsführer ttools gmbh

johannes.lieberherr@ttools.ch