

Kombinierte betriebliche und verkehrliche Bewertung von Bahn-Angeboten

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, um das Qualitätskriterium «Pünktlichkeit» aus Kundensicht inklusive der Anschlusssicherheit auf der gesamten Reisekette abzubilden.

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, obwohl unbestritten ist, dass sie sich gegenseitig stark beeinflussen.

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 Maßnah-

men. Die direkte monetäre Bewertung der betrieblichen Qualität ist in Ansätzen entwickelt, beispielsweise in [1] oder [2], es besteht jedoch keine einheitliche Ermittlung von Kosten und Nutzen wie bei der verkehrlichen Bewertung. Eine erlössteigernde Wirkung von Infrastrukturmaßnahmen, die nicht zur Angebotsverbesserung, sondern der Pünktlichkeitsverbesserung dienen, wird dabei in den Bewertungsmodellen nicht berücksichtigt. Entsprechend treten pünktlichkeitssteigernde Maßnahmen bei monetären Bewertungen oft nur auf der Kostenseite auf.

Vor diesem Hintergrund beauftragte SBB Personenverkehr eine Studie mit dem Ziel, eine Methodik für die Kombination der betrieblichen und verkehrlichen Bewertung



Burkhard Franke
Partner trafIT solutions gmbh
franke@trafit.ch



Johannes Lieberherr
Geschäftsführer ttools gmbh
johannes.lieberherr@ttools.ch



Livio Kaeslin
Verkehrsplaner
SBB Personenverkehr
livio.kaeslin@sbb.ch

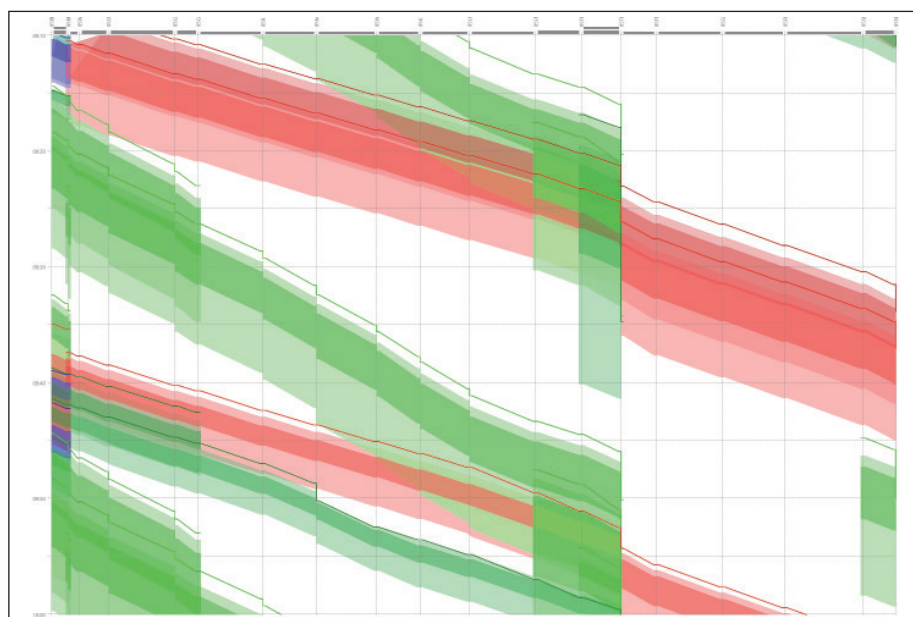


BILD 1: Visualisierung der Verspätungsverteilungen in einem Bildfahrplan

von Angebotskonzepten zu entwickeln und diese, gekoppelt mit den bei der SBB genutzten Verfahren zur betrieblichen und verkehrlichen Bewertung, integriert zur Anwendungsreife zu bringen.

2. METHODEN

Zur Pünktlichkeitsprognose wird bei SBB Infrastruktur das Verfahren OnTime zur netzweiten Simulation von Fahrplänen eingesetzt. Zur Nachfragebewertung nutzt SBB Personenverkehr die Verkehrsmodellierungsumgebung SIMBA (siehe [3]), deren Softwarekern PTV 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 den in [4] beschriebenen stochastischen Ansatz zur Abbildung des Verspätungszustandes der Züge mittels Wahrscheinlichkeitsverteilungen (Bild 1). Auch Störungen (Primärverspätungen) wirken als Verspätungsverteilungen auf die Züge; über Belegungskonflikte, Anschlüsse oder Wenden wird die Verspätung mittels Faltung der Verteilungsfunktionen im System fortgepflanzt. Anders als bei deterministischen Simulationen kann so das Verspätungsverhalten eines Jahresfahrplans über das gesamte Netz abgebildet werden.

OnTime wird bei SBB im Rahmen von SBB-internen Prozessen zur Prognose der Betriebsqualität und der Erhaltung sowie 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 auf Basis einer 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 hohe Qualität 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.

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

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 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 angenommen. Konzepte mit wenig Reserven werden auf Grund der optimistischeren deterministischen Reisezeiten daher grundsätzlich besser bewertet als Konzepte, in welchen die Risiken mit mehr Reserven gedämpft werden. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund, dass die Zuverlässigkeit des Systems eine signifikante Entscheidungsgröße für die Verkehrsmittelwahl der Kunden ist, problematisch (siehe z. B. [5]).

Bei verkehrlichen Bewertungen wird zwischen der Nachfragemodellierung und der Verkehrsumlegung unterschieden:

→ In der Nachfragemodellierung werden die Quell-Ziel-Matrizen berechnet, entweder als absolute Größen oder als Differenzmatrizen, welche einer Ausgangsmatrix hinzuaddiert werden. In den Verkehrsmodellen der Bahnen, z. B. in SIMBA bei SBB Personenverkehr, kommen auch sogenannte Direct-Demand-Modelle zum Einsatz, wo via Elastizitäten aus der Veränderung der Kenngrößen direkt auf die Änderung der Input-Matrix geschlossen wird ([3], [6]). 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 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 der beiden Verfahren besteht darin, dass die in OnTime berechnete betriebliche Qualität auf die mit Visum ermittelten Reisewege der Bahnkunden (Verbindungen) übertragen wird. Hierfür werden zugscharf für alle Verbindungen jeder Quelle-Ziel-Relation die korrespondierenden Pünktlichkeiten in OnTime abgefragt und auf die Verbindungen übertragen. Die in OnTime berechneten mittleren Verspätungen und die Anschlusswahrscheinlichkeiten pro Fahrplanereignis (z. B. Ankünfte und Abfahrten) bilden dabei die Situation ab, die ein Bahnkunde – zumindest im Erwartungswert – bei Ankünften und Umstiegen 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 berechnen.

3.1. REALISIERUNG

Die in OnTime angewandte Logik der stochastischen Verspätungsfortpflanzung zwischen den Zügen lässt sich auf die Verbindungen aus Visum erweitern, indem bei jedem Umsteigevorgang die Verspätungsverteilung des ankommenden (zubringenden) Zuges mit der Verspätungsverteilung des abfahrenden (wegbringenden) Zuges kombiniert wird. Dabei ist zu beachten, »

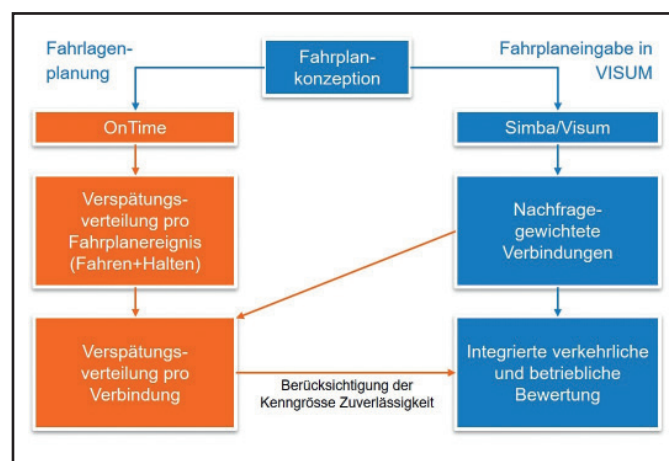


BILD 2:
Flusschema des im Rahmen dieser Studie entwickelten Modells

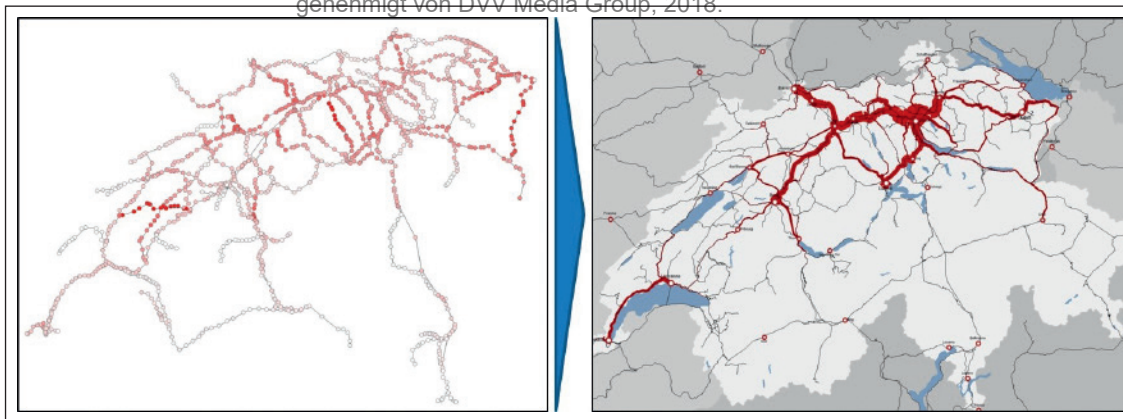


BILD 3:
Pünktlichkeits- und
Nachfragewirkung
netzweite Maßnahme

dass bei großer Verspätung des zubringenden Zuges Anschlussbrüche auftreten, sich daher die Verbindung ändert und größere Verspätungen am Zielbahnhof resultieren können. Für jede Verbindung aus Visum wird mittels der Anschlusswahrscheinlichkeiten und den Verspätungsverteilungen der Zugankünfte aus OnTime eine Verspätungsverteilung am Zielbahnhof für die Gesamtverbindung berechnet, wobei durch Anschlussbrüche entstehende Verspätungen fahrplangenau berücksichtigt sind. Mit Hilfe dieser Verspätungsverteilungen pro Verbindung kann eine Kenngröße für die Zuverlässigkeit pro Verbindung und aggregiert pro Quell-Ziel-Relation berechnet werden. Durch Integration dieser Kenngröße in die Widerstandsfunktion des Verkehrsmodells wird die Wirkung von Veränderungen der Pünktlichkeit auf die Nachfrage berechnet.

Bild 2 veranschaulicht die im Rahmen dieser Studie durchgeführten Arbeiten:

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 wird. Im Rahmen von STEP erfolgt eine verkehrliche Bewertung mit dem Bewertungssystem SIMBA bei SBB Personenverkehr und eine betriebliche Bewertung mit OnTime bei SBB Infrastruktur.

Die für diese Studie relevanten Resultate der beiden Modellierungen sind einerseits die Verbindungen aus Visum und andererseits die Verspätungsverteilungen der Zugankünfte sowie die Anschlusswahrscheinlichkeiten aus OnTime.

Zunächst wird berechnet, welche alternativen Verbindungen im Falle von Anschlussbrüchen entstehen, wobei hier fahrplan-

scharf Verbindungssuchen durchgeführt werden. Daraus 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 ([5], [7]) resp. in eine allgemeine Widerstandsfunktion integriert, so dass sie wie die anderen Kenngrößen in der Nachfragemodellierung verwendet werden können.

4. ANWENDUNG UND ÜBERPRÜFUNG

Das beschriebene Verfahren wurde anhand von Beispielfällen erprobt. Als Anwendungsfälle wurden Szenarien der Untersuchung der STEP Ausbauschritte ausgesucht, für die sowohl Visum-Planfälle als auch OnTime-Resultate vorlagen.

4.1. MASSNAHME MIT NETZWEITER WIRKUNG

In diesem Szenario ist pauschal eine Erhöhung der Wartezeit bei allen Anschlüssen um 30 Sekunden gegenüber dem Referenzszenario unterstellt. Eine solche Maßnahme verbessert einerseits den Anslusserreichungsgrad, erhöht gleichzeitig aber auch die Verspätungsübertragung über Anschlüsse, wirkt somit negativ auf die Zugspünktlichkeit, was an anderen Orten wiederum negativ auf den Anslusserreichungsgrad wirken kann.

Bei den gewählten Parametern steigt der nicht nachfragegewichtete Anslusserreichungsgrad netzweit von Referenz zur Variante um rund 0.5%, die 3-Minuten-Zugspünktlichkeit fällt netzweit von Referenz zur Variante um 2.4% im FV und 1.5% im RV.

Die Wirkungen zeigen die folgenden Differenzplots in Bild 3. Links ist die veränderte Zugspünktlichkeit in den Bahnhöfen mit einer Färbung gemäß der jeweiligen Ankunftspünktlichkeit dargestellt. Die rechte Darstellung zeigt die Nachfragewirkung ebenfalls als Differenzplot, die Strichdicke repräsentiert die Stärke der Wirkung. Es ist ersichtlich, dass sich die Nachfragewirkung über das gesamte Normalspurnetz verteilt, alle ersichtlichen Werte sind rot, d.h. die Wirkungen sind negativ. Die Nachfragewirkung ist dabei differenziert und nicht deckungsgleich zu den Pünktlichkeitsdifferenzen.

4.2. MASSNAHME MIT LOKALER WIRKUNG

Untersucht wurde die Wirkung einer zusätzlichen parallelen Fahrmöglichkeit (neue Weichenverbindung) im Bahnhof Schaffhausen. Bild 4 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.

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. 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.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Es wurde ein Ansatz entwickelt, mit dem die Resultate der betrieblichen Pünktlichkeitsbewertung in die verkehrliche Nach-

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für traflT solutions gmbh /
Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten
genehmigt von DVV Media Group, 2018.

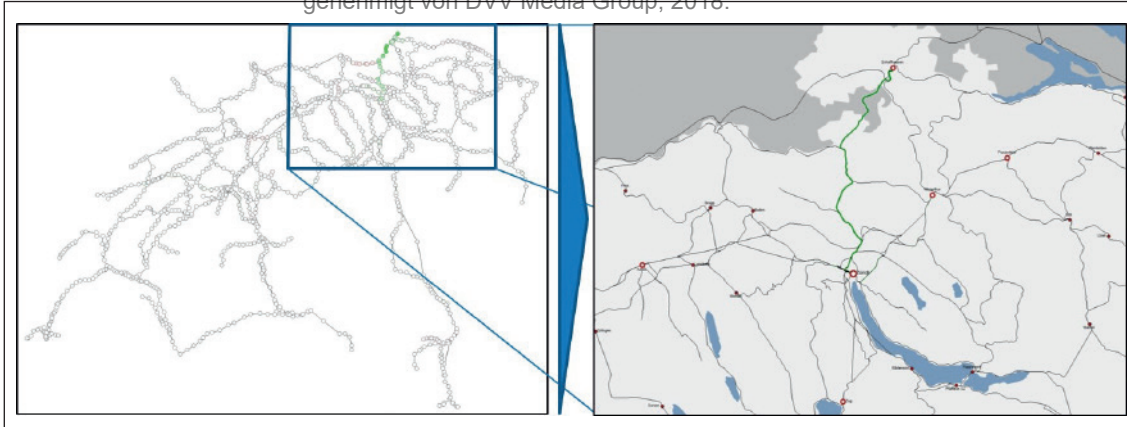


BILD 4:
Pünktlichkeits- und
Nachfragewirkung
lokale Maßnahme

fragebewertung 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 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. ◀

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. Bükler und B. Seybold, „Stochastic modelling of delay propagation in large networks“, Journal of Rail Transport Planning & Management, 2012.
- [5] P. Fröhlich, „Einfluss der Verlässlichkeit der Verkehrssysteme auf das Verkehrsverhalten“, Bundesamt für Strassen ASTRA, Bern, 2014.
- [6] W. Scherr und P. Bützberger, „Calibration of the Swiss Rail Model Using Longitudinal Demand Observation“, in Conference paper STRC 2016, Ascona, 2016.
- [7] 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.

► SUMMARY

Evaluation of operation and traffic impact of railway offers

Today, railway offers are evaluated both for their punctual operation and for their demand, but there are still no established methods to consider both points of view integrally in the evaluation. A study for the Swiss Federal Railways, SBB, investigated how to combine the already established processes of punctuality forecast with the prognosis in transport demand, in order to illustrate- from the customer point of view- the quality criteria “punctuality” including connection security on the complete travel chain.

MODELLING THE FUTURE OF RAILWAY SYSTEMS

- Systems, Software, Safety, Security
- Beratung und Engineering über den gesamten Lebenszyklus hinweg
- Kompetenz und Erfahrung rund um Rail 4.0
- Globale Präsenz in 25 Ländern mit 14.000 Mitarbeitern
- Lokale Unterstützung mit 13 Standorten in Deutschland

www.assystem-germany.com

InnoTrans



Besuchen Sie uns auf der
InnoTrans 2018
Halle 6.2, Stand 310

WE IMPROVE THE WORLD
THROUGH ENGINEERING

an
assystem