

# Fahrgäste, Stationen & Züge im Mittelpunkt – bedarfsgerechter Betrieb während COVID-19 und darüber hinaus

Focussing on passengers, stations & trains – demand-driven operations during the COVID-19 pandemic and beyond

Theresa Pancini Fitzek | Fabian Joos | Hartmut Huber

**G**lobale Entwicklungen, wie sie aktuell mit der Pandemie erlebt werden, verändern unseren Alltag nachhaltig und damit einhergehend das Verhalten der Fahrgäste von Metro-Systemen. Doch was bedeutet das konkret? Analysen zeigen, dass sich das Fahrgastaufkommen durch die Corona-Pandemie im Mittel teils mehr als halbiert hat. Und das innerhalb von nur wenigen Wochen. Die Umstellung der Metro-Systeme sowie der Betriebsprozesse auf diese neue Situation gilt es zu bewältigen. Dabei spielt sich die Umstellung im Rahmen eines Spannungsdreiecks zwischen Kosten des Betriebs, Operabilität des neuen Fahrplans und der Erwartungshaltung der Fahrgäste ab. Doch auch nach der Pandemie wird das Thema dynamische Regulationen im Bereich Metro-Betrieb aktuell bleiben. Dies wird durch die Urbanisierung und damit einhergehenden wachsenden Passagierzahlen und ständig steigenden Effizienzerwartungen geprägt. Überfüllung beeinträchtigt die Sicherheit in Bahnhöfen, die Pünktlichkeit der Zugnetze, das allgemeine Fahrgasterlebnis und wirkt sich hauptsächlich auf die Arbeit der Bahnbetreiber aus. Einige Bahnbetreiber müssen eine Pünktlichkeitsgebühr zahlen, die sich aus Zugverspätungen ergibt. Andere haben einen Schwellenwert für eine akzeptierte Anzahl sicherheitsrelevanter Vorfälle, die nicht überschritten werden sollten. Andere leiden einfach unter einer schlechten Reputation, weil der Fahrkomfort der Passagiere durch überfüllte Bahnhofsumgebungen und Züge leidet. Dieser Beitrag wird einen bisherigen, exemplarischen Prozess zur Erstellung eines Fahrplanes kurz beleuchten sowie auf Herausforderungen der Stationsauslastungen eingehen. Anschließend wird aufgezeigt, wie alternativ mit bereits verfügbaren Technologien ein Fahrplan auf Basis einer automatisierten Erfassung der Passagierströme in den Stationen bedarfsgerecht erstellt werden kann.

## 1 Der klassische Weg zum Fahrplan

Bei der Betrachtung der Stationsauslastungen sowie der Erstellung der Fahrpläne spielen bis dato manuelle Prozesse und die Nutzung historischer Daten eine prägnante Rolle. Beispielsweise wird die Auslastung der Stationen derzeit mittels Videoüberwachung oder durch Sicherheitspersonal überwacht. Dies bringt definitiv Transparenz, jedoch nur bis zu einem gewissen Grad, da diese Methoden auf menschlicher Präsenz und Subjektivität beruhen. Die Fahrpläne hingegen werden auf Basis von historischen Daten aufgebaut (Bild 1). Dabei werden die bereits gefahrenen Fahrplanszenarien ausgewertet und kategorisiert. Bei dieser Kategorisierung werden die historischen Fahrpläne für bspw. Wochentage, Wochenenden, Feiertage, Ferienrückreisetage o. ä. als Basisfahrpläne für zukünftige, ähnliche Konstellationen angelegt.

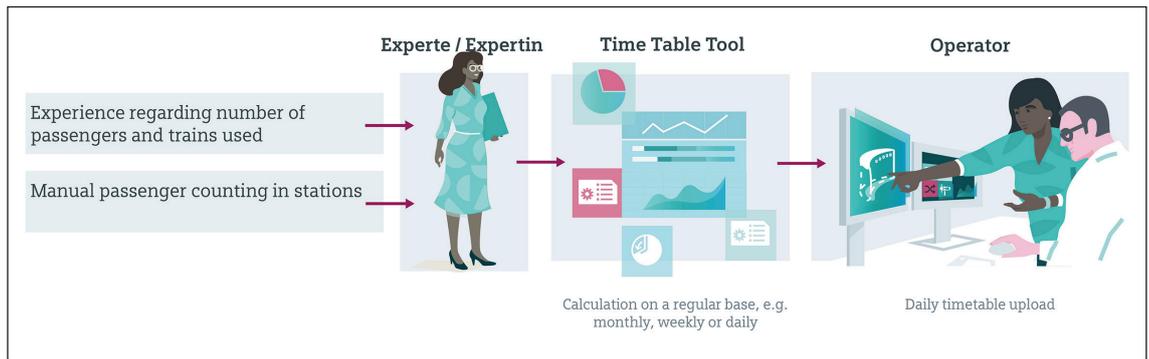
**G**lobal developments, such as those currently seen within the context of the pandemic, are triggering long-term changes in our everyday lives. This has also impacted the way people are using urban rail transportation, i.e. underground railway systems. So, what does this mean in concrete terms? Analysis has shown that the average number of passengers has dropped to less than half in some places during the COVID-19 pandemic, all in just a few weeks. It is now essential to adapt underground railway systems and their operating processes to this novel situation. At the same time, the transformation must also strike a viable balance between optimising operating costs, ensuring the operability of any adapted timetables and fulfilling passenger expectations. Moreover, dynamic regulation methods for underground railway operations will remain a central topic even after the pandemic due, amongst other things, to ongoing urbanisation and the resulting growth in passenger numbers and ever-increasing efficiency expectations. Overcrowding on trains and in stations does not only affect station safety, train network punctuality and the overall passenger experience, but it also has a significant impact on the work undertaken by rail operators. Some rail operators have to pay a late fee in the case of train delays. Others have to be careful not to exceed a specified threshold for the acceptable average waiting time at the station. Still others are struggling with the poor reputation of their services due to the overcrowding of stations and trains, which compromises passenger comfort. This article looks into the processes that have been used in timetable creation to date and addresses the challenges of station capacity utilisation. It then shows how already available innovative technologies can provide an alternative method for truly demand-driven timetable generation based on the automated recording of passenger flows.

## 1 The traditional method of timetable creation

Manual processes and the use of historical data have played a dominant role in station utilisation analysis and timetable creation to date. Currently, the station occupancy rate is recorded using video surveillance equipment or security personnel. This provides a certain degree of transparency, but only to a limited extent, as these methods are based on human presence and subjectivity. Schedules are then created on the basis of the collected historical data (fig. 1). Previously applied timetable scenarios are evaluated and categorised in this process. The categorisation involves the specification of historical timetables for specific periods, e.g. weekdays, weekends, holidays or vacation return days, as templates for similar constellations in the future.

**Bild 1: Konventionelle Zugfahrplan**

Fig. 1: Conventional timetable development  
Quelle / Source: Siemens Mobility GmbH



Die Auswahl des am besten passenden Basisfahrplans hat sich über die letzten Jahrzehnte zunehmend verbessert. Grund hierfür sind die Erfahrungswerte der Betreiber mit der Unterstützung von sogenannten Fahrplanungs-Tools. Dieser Ansatz funktioniert jedoch am besten, wenn sich die Rahmenbedingungen für den Fahrplan wenig ändern. Ergänzend hierzu werden Stationsdaten und historische Fahrplaninformationen nur in Ansätzen miteinander in Relation gebracht.

**2 Der Input bestimmt die Qualität der Vorhersagen**

Notwendig für eine Optimierung der Stationsauslastung und den optimalen Fahrplan ist eine möglichst hohe Anzahl an qualitativ hochwertigen Input-Daten.

Für die Plattformen und Züge beispielweise bietet sich eine Messung, Analyse und Visualisierung der Anzahl und der Bewegung von Fahrgästen an.

Da jedoch jede Stationsumgebung anders ist, nutzt Siemens ein Portfolio von variierenden Implementierungen, die auf Erfahrungen mit verschiedenen Schnittstellen zu Technologien basieren, die zur Personenzählung dienen können. Für die Eisenbahninfrastruktur gehören dazu stereoskopische Kameras (3D-Sensoren), Videoüberwachungssysteme (CCTV-Kameras) und Ticketdreh-

The selection of the best-fitting timetable templates has constantly improved in recent decades, thanks in part to the operators' growing databases and the support provided by powerful timetabling tools. However, this approach works best when the framework conditions for the respective timetable types change only slightly. The option of fine-tuning this process by integrating live station data and historical timetable information has rarely been used to date.

**2 Predictive quality depends on the data input**

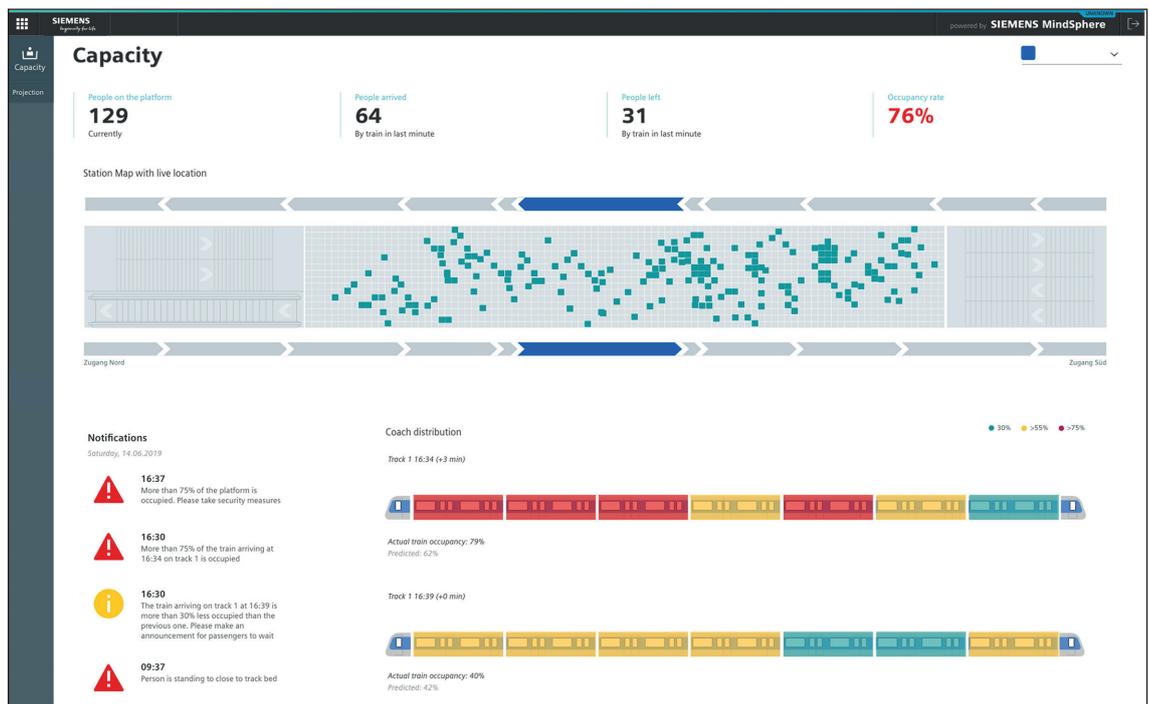
When optimising station utilisation and developing an optimal timetable, we need the largest possible quantity and range of high-quality input data.

For example, valuable data on platform and train use can be generated by counting the number of passengers at various locations over time, including analysis and visualisations.

The Siemens portfolio encompasses a diverse range of technologies for this purpose, because every station environment has its own specific characteristics. Counting people in the station infrastructure can be done using stereoscopic cameras (3D sensors), video surveillance systems (CCTV systems) and ticket turnstiles (AFC), amongst others. Relevant data is also

**Bild 2: Benutzeroberfläche zur Visualisierung wichtiger Stationsdaten**

Fig. 2: The graphical user interface showing key station data  
Quelle / Source: Siemens Mobility GmbH



Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Siemens Mobility GmbH /  
 Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten  
 genehmigt / © DVV Media Group GmbH

kreuze (AFC). Für die Fahrzeuge umfasst dies Daten zum Zuggewicht, die von automatischen Zugsteuerungssystemen (Automatic Train Control – ATC) bereitgestellt werden, Daten von Sensoren in den Türen von Zügen, Videoüberwachungssystemen (CCTV-Kameras), drahtlosen Bluetooth-Beacons und Daten aus der Nutzung von Smartphone-Ticketing-Apps. Wenn ein Kunde relevante Daten aus anderen Quellen besitzt, können diese im Normalfall zusätzlich mit einbezogen werden.

Diese Daten und deren Analyse werden in einer Benutzeroberfläche (Bild 2) visualisiert. Der Bahnbetreiber kann vom Computer in der Betriebszentrale, vom Tablet oder Smartphone auf diese Benutzeroberfläche zugreifen. Warnungen und Benachrichtigungen werden automatisch ausgelöst, wenn ein Vorfall oder ein überschrittener Schwellenwert erkannt wird.

### 3 Von den Input-Daten zur Passagieraufkommensprognose

Diese Daten bilden die Basis für die Bestimmung der Transportnachfrage. Sie werden durch weitere, auch externe nachfragerrelevante Daten ergänzt, z. B.:

- Korrelation mit dem Datum (Feiertage, Veranstaltungskalender...)
- Wetter- und Umweltdaten
- Verkehrsinformationen von Zuliefersystemen wie Bus und Tram oder auch aktuelle Informationen zum Straßenverkehr aus Cloud Applikationen wie bspw. Google Traffic.

Dabei identifizieren die Algorithmen die Datenquellen und Inputdaten, die die Nachfrage voraussichtlich am besten repräsentieren. Diese werden auch als Passagiernachfragetracker bezeichnet. Intelligente Algorithmen werden verwendet, um Trends in den Rohdaten abzuleiten. Diese Trends werden kombiniert, um die Passagiernachfrage vorherzusagen, und es wird eine Nachfragekurve und eine detaillierte Heatmap, die die Anzahl der Passagiere pro Segment der Linie und pro Zeit beschreibt, erstellt.

Die Genauigkeit dieser Vorhersage hängt von der Qualität des verwendeten Passagiernachfragetrackers ab. Simulationen zeigen jedoch, dass eine starke Korrelation zwischen vorhergesagten Nachfragewerten und realen Passagierzahlen erreicht werden kann.

Diese Vorhersage wird typischerweise eine Woche vor dem Zieldatum erstmalig durchgeführt, um die Planung z. B. von Fahrer-

gathered on the trains themselves (for example based on the train weight measured by the automatic train control (ATC) systems or the occupancy data from the sensors in the train doors) and by video surveillance systems and wireless Bluetooth beacons complemented by the data derived from the use of smartphone ticketing apps. Any qualitative data from other sources available to the customer can also usually be incorporated.

This data and the resulting analysis are visualised on a graphical user interface (GUI – fig.2) that the rail operator can access on a computer in the operations centre, as well as from a tablet or smartphone. The system will automatically trigger warnings and notifications in the event of an incident or when a threshold value is exceeded.

### 3 From input data to passenger demand forecast

This wealth of data forms the basis for passenger demand predictions. It is complemented by other demand-related information, including external data, such as:

- calendar data (public holidays, scheduled events, ...),
- weather and environmental data,
- traffic information from feeder systems, such as buses and trams, or the latest road traffic information from cloud applications, such as Google Traffic.

Specific algorithms identify the input data that most accurately reflects the demand as part of the process. This is also known as passenger demand trackers.

Other intelligent algorithms are then used to derive trends from the raw data. The system forecasts passenger demand by combining the different trends and as such generates a demand curve and a detailed heat map that represents the number of passengers expected for each segment of the line in each time period.

Of course, the accuracy of the forecast depends on the quality of the used passenger demand trackers, but simulations have shown that a strong correlation can be achieved between the predicted demand values and the actual passenger numbers.

The forecast is typically run for the first time one week before the target date in order to coordinate the planning of the associated

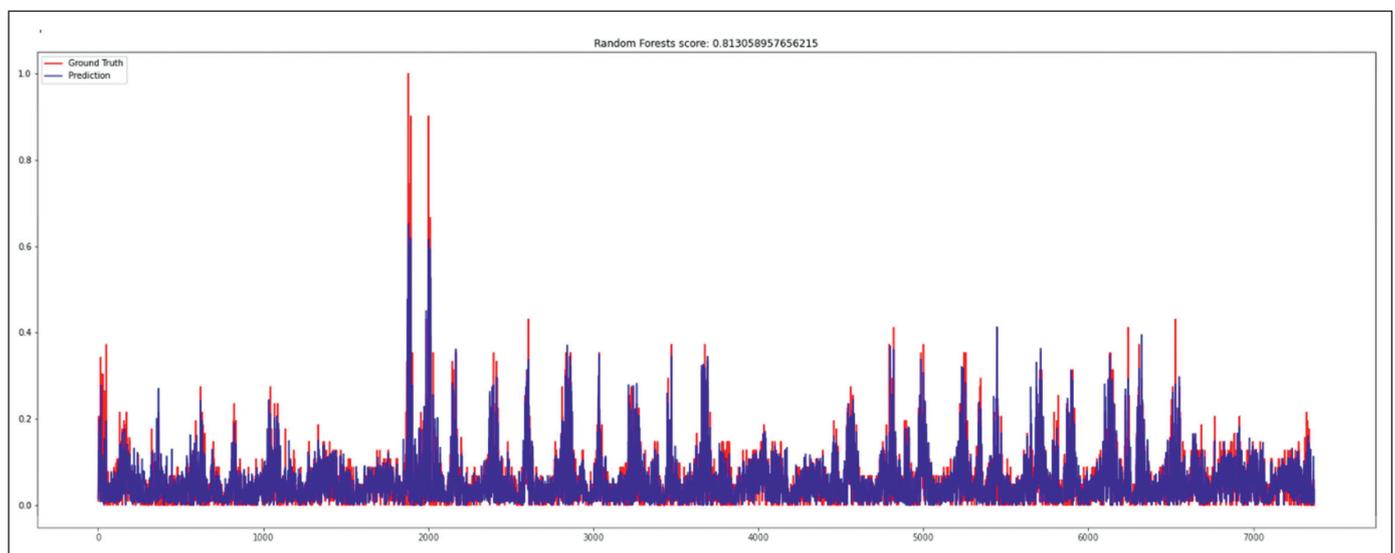


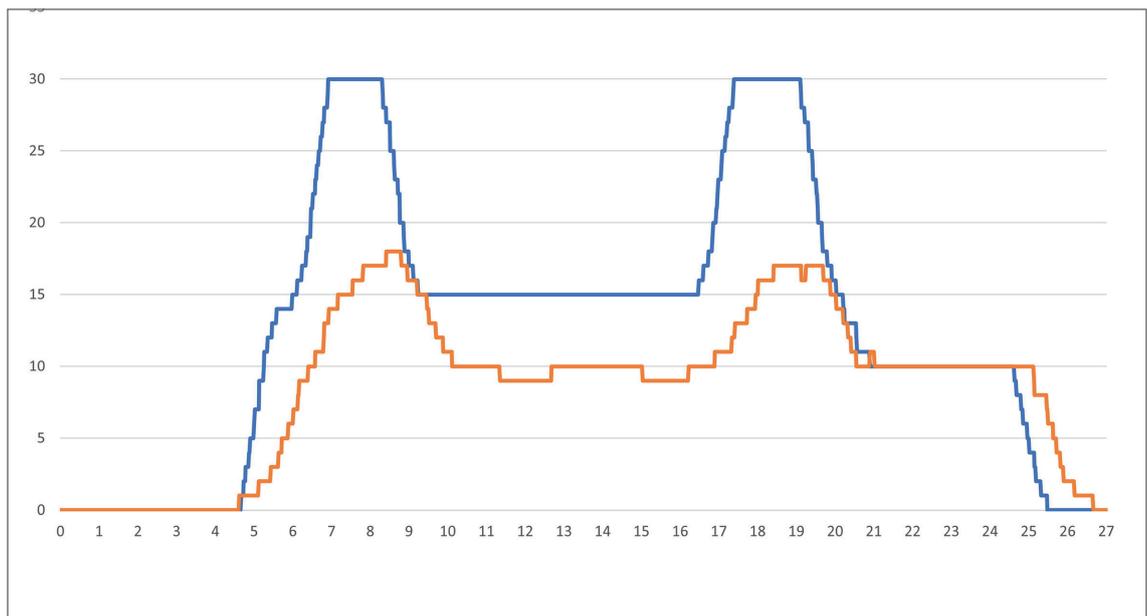
Bild 3: Vergleich von Bedarfsvorhersagen und tatsächlichem Transportbedarf

Fig. 3: A comparison of demand prediction and real transportation demand

Quelle / Source: Siemens Mobility GmbH

#### Bild 4: Reduktion der eingesetzten Züge auf Basis der Bedarfsvorhersage

Fig. 4: Reduced train use based on demand predictions Quelle / Source: Siemens Mobility GmbH



schichtplänen und von Wartungsaktivitäten zu koordinieren. Dann wird jeden Tag ein Update der Vorhersage durchgeführt, um Änderungen rechtzeitig zu erfassen (z. B. hält sich das Wetter bekanntermaßen schlecht an langfristige Planungen).

Eine typische Vorhersage auf Basis von relevanten Passagiernachfragedaten und von Bedarfsdaten zeigt die Grafik in Bild 3. Das selbstlernende System hat dabei eine Vorhersagegenauigkeit von >90% erreicht.

#### 4 Der optimale Fahrplan für den vorhergesagten Bedarf

Diese Vorhersage der Passagiernachfrage wird genutzt, um einen optimierten Fahrplan für den Zieltag zu erstellen.

Bei der Erstellung des Fahrplans sind jedoch nicht nur die Prognosen von Relevanz, auch Einflussgrößen und Ziele wie Wartezeit für die Fahrgäste, Zuglast, Energieeffizienzziele, Zugkilometer, Wartungskosten oder Ähnliches müssen berücksichtigt werden. Dabei ist es möglich, dass sich diese Ziele auch konkurrierend zueinander darstellen. Diese Ziele werden bei Siemens auch Key Performance Indicator (KPI) genannt. Anhand der KPI werden Gleichungslöser genutzt, um einen optimalen Zeitplan für die Zugfahrten zu finden.

Der letzte Schritt zur Finalisierung des Fahrplans ist die Berücksichtigung von technischen oder betrieblichen Notwendigkeiten (z. B. Verfügbarkeiten von Zügen und Fahrern). Dieser Zeitplan wird dann am Folgetag in die Leittechnik geladen und von diesem ausgeführt.

Auf Basis der oben dargestellten Bedarfsvorhersage wurde ein optimierter Fahrplan erstellt. Dabei wurden die KPI des Operators abgebildet und die technischen oder betrieblichen Einschränkungen der Linie modelliert. Durch Variation der KPI wurde der Fahrplan optimiert. Durch eine Anpassung an den tatsächlichen Transportbedarf konnte eine gravierende Verbesserung sowohl der Qualitätsparameter der Reisenden (z. B. Reduktion der durchschnittlichen Wartezeit) als auch des Operators (z. B. Reduktion der Zugkilometer) erreicht werden. Der blaue Graph in Bild 4 zeigt die Planung mittels der klassischen Methode, wohingegen der orangene Graph die Anzahl der Züge nach der optimierten Planung exemplarisch an einem Tag im Tagesverlauf darstellt.

schedules, such as the engine driver shifts and maintenance activities. This initial forecast is updated every day in order to reflect any changes in good time (the weather, for instance, is notoriously bad at complying with long-term forecasts).

The graph in fig. 3 shows a typical forecast based on relevant data regarding passenger demand and other requirements. The self-learning system achieves a predictive accuracy of over 90%.

#### 4 The optimum timetable to meet predicted demand

This passenger demand forecast is the key input for planning an optimum timetable for the target day.

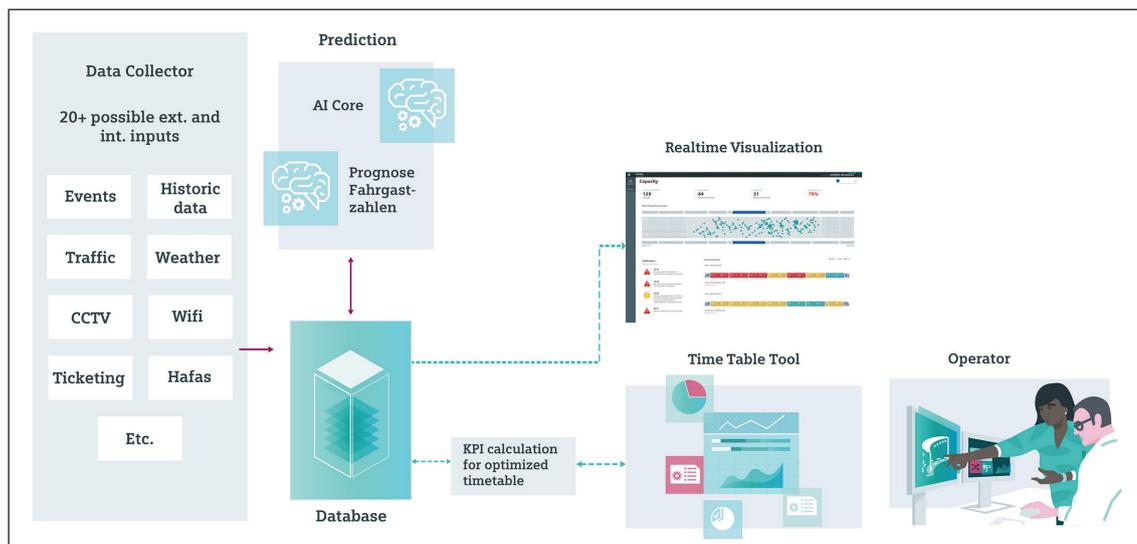
However, timetable creation not only needs to consider the relevant forecasts, but also other factors and objectives such as passenger waiting times, train loads, energy efficiency targets, train kilometres, maintenance costs and so on. In addition, some of these objectives, or “Key Performance Indicators” (KPI) as they are called at Siemens, may actually constitute conflicting targets. An equation solver uses the KPI to calculate an optimal schedule for the train runs. It creates a representation of the operator’s KPI and a model of the technical or operating constraints on the line in question for this purpose.

The KPI are weighted to ensure optimum planning. By adapting the schedule to the actual transport demand, significant improvements in both the quality parameters for the passengers (e.g. the reduction of the average waiting time) and the operator’s target values (e.g. fewer train kilometres) can be achieved. The graph (fig. 4) is an example of planned train deployment over the course of a day: the blue line shows the numbers that have been planned using the classical method, while the orange line reflects the optimised planning based on modern tools.

The finalised timetable is loaded into the control system and implemented on the target day.

#### 5 Short-term adjustments on the target day

The system also continues to record and analyse the actual passenger flows over time on the target day. Any deviations from the forecast numbers that exceed an operator-defined level are highlighted in colour on the GUI. If desired, the sys-



**Bild 5: Systemaufbau für die bedarfsgerechte Zugsteuerung**

Fig. 5: The system structure for Demand Responsive Transportation

Quelle / Source: Siemens Mobility GmbH

## 5 Kurzfristige Anpassungen am Zieltag

Die Entwicklung der Passagierströme wird ebenfalls auch am Zieltag erfasst und analysiert. Abweichungen, die über ein vom Betreiber festgelegtes Maß hinausgehen, werden farblich in der Benutzeroberfläche hervorgehoben. Auf Basis dessen können dem Betreiber Handlungsanweisungen vorgeschlagen werden. Der Betreiber kann die Ist-Daten und die Vorschläge als Basis für seine Maßnahmen nutzen und z. B. weitere Züge in das Netzwerk einbringen, Züge zu Netzabschnitten mit mehr Transportbedarf umleiten oder Züge früher wenden lassen.

## 6 Praxisanwendung der Systematik zur Unterstützung der Eindämmung der Pandemie

Die Reaktion auf Corona hat zu raschen und oft auch zu drastischen Änderungen im Passagieraufkommen geführt. Das System erlernt die Muster dieser neuen Verhaltensweisen und berücksichtigt sie in der Vorhersage des Transportbedarfes.

Das System unterstützt dabei nicht nur in der Bedarfsanalyse, sondern kann gesetzliche Vorgaben zum Pandemiemanagement auch gezielt umsetzen: Dabei werden die KPI für die Optimierung den gesetzlichen Erfordernissen angepasst, indem z. B. eine Vorgabe für die maximale Passagierzahl im Zug als Basis für die Fahrplanerstellung verwendet wird.

Am Zieltag vergleicht das System die Planbelastung und die tatsächliche Anzahl der Passagiere und gibt über die Benutzeroberfläche Hinweise, wenn zusätzliche Züge eingeführt werden müssen oder auch wenn doch einmal der Zugang zu einer Station temporär eingeschränkt werden muss.

## 7 Fazit: Schnelle Reaktion auf Änderungen in unserem Alltag

Neue Technologien und Systeme helfen dem Operator, transport-relevante Daten zum Verkehrsgeschehen an Stationen und in den Zügen zu erfassen, zu speichern und leicht erfassbar darzustellen. Dann können auf Basis dieser Daten der Verkehrsbedarf bestimmt und der optimale Fahrplan entwickelt werden. Und das nicht nur einmal pro Jahr, sondern bei Bedarf täglich – denn das Verkehrsgeschehen ist an jedem Tag anders!

Dabei wird unter anderem auf folgende Themen individuell eingegangen:

tem can suggest options in line with the new demand situation. The operator can decide on the measures to take, such as adding more trains to the network, rerouting trains to network sections with higher transport demand, or having trains turn around earlier, on the basis of the updated data and the system's suggestions.

## 6 Practical applications within the context of pandemic containment

Passenger volumes have changed rapidly and in many cases also drastically in response to the Corona pandemic. The system recognises these new behaviour patterns and incorporates them into its transport demand forecasts.

It can also define and implement targeted measures to meet the government's directives for managing and containing the pandemic. To this end, the KPIs for optimising the timetable can be adjusted to meet the legal requirements, for example, by defining the maximum number of passengers on each train as the basis for timetable creation.

The system compares the planned capacity utilisation and the actual number of passengers on the target day and communicates the information via the GUI if, for example, additional trains need to be deployed to meet demand or access to a specific station has to be temporarily restricted due to overcrowding.

## 7 Conclusion: a rapid response to changes in our daily lives

New technology and systems enable operators to collect, store and transparently visualise transport-relevant data pertaining to the current situation in stations and on trains. Operators can then use this data to forecast transport demand and develop the most suitable timetable. And not just once a year, but every single day, if necessary, because the transport situation changes every day!

The technology supports and optimises the following work steps in a targeted manner:

- the recording and visualization of transport-relevant data on passenger presence in stations and trains,
- the precise prediction of when and where passengers will travel based on transport-relevant data and using self-learning, intelligent algorithms,

- Erfassung und Darstellung von transportrelevanten Passagierdaten zu Stationen und Zügen
- genaue Vorhersage, wann und wo der Fahrgast fahren wird, auf Basis von transportrelevanten Daten und mittels selbstlernender intelligenter Algorithmen
- Der Fahrplan wird auf den vorhergesagten Transportbedarf abgestimmt. Dabei werden die Qualitätsparameter des Operators als Optimierungsziele (KPI) abgebildet und eingehalten.
- Gesetzliche Vorgaben zum Pandemiemanagement werden als Vorgabe für die maximale Passagierzahl in der Station und in den Zügen in der Fahrplanplanung berücksichtigt und tragen damit zur Sicherheit und Gesundheit der Fahrgäste bei.

Die Optimierung des Fahrplans erfolgt aber nicht zulasten der Fahrgäste oder des Betreibers! Wenn bekannt ist, wann und wo Transportbedarf besteht, dann können die Züge genau dann und genau dort bereitstellen werden.

Damit stellt das Siemens-System eine Win-Win-Situation für die Fahrgäste und für den Betreiber dar. ■

- matching the timetable to the predicted transport demand, while also factoring in the operator's quality parameters as optimisation targets (KPIs),
- the consideration of any governmental pandemic management directives that are relevant for timetable creation, e.g. in the form of defined maximum numbers of passengers in stations and on trains, thus contributing to the health and safety of passengers and personnel.

However, the alignment of the timetable with these additional requirements need not take place at the expense of the passengers and the operator! The trains can be made available at exactly the right time and place, because the system knows when and where there will be a need of transportation.

Hence the Siemens system creates a win-win situation for both passengers and operators. ■

## AUTOREN | AUTHORS

### Hartmut Huber

Projektmanager / *Project Manager*

Siemens Mobility GmbH

Anschrift / *Address*: Ackerstraße 22, D-38126 Braunschweig

E-Mail: huber.hartmut@siemens.com

### Theresa Pancini Fitzek

Produktmanagerin / *Product Manager*

Siemens Mobility GmbH

Anschrift / *Address*: Kieffholzstraße 44, D-12435 Berlin

E-Mail: theresa.pancini\_fitzek@siemens.com

### Fabian Joos

Digitalization@Siemens Mobility Rail Infrastructure

Siemens Mobility GmbH

Anschrift / *Address*: Ackerstraße 22, D-38126 Braunschweig

E-Mail: fabian.joos@siemens.com