

# Operatives Fahrplansystem für automatisches Fahren

Das Zugbeeinflussungssystem Trainguard MT von Siemens besitzt Funktionen, die für das automatische Fahren im schienengebundenen Verkehr von Bedeutung sind.

MARTIN HARBORTH

**In diesem Beitrag werden die Funktionen eines operativen Fahrplansystems beschrieben, die für das automatische Fahren im schienengebundenen Verkehr von Bedeutung sind. Neben der eigentlichen Funktionsbeschreibung wird auch ein Systemüberblick aus der Perspektive des operativen Fahrplansystems in einem konkreten Kundenprojekt dargestellt. Außerdem wird ein Ausblick auf zukünftige Projekte in diesem Bereich gegeben.**

Der Automatisierungsgrad in der Betriebsleitertechnik hat sich im Lauf der Jahre immer weiter erhöht. So ist es heute bereits üblich, dass die Zuglaufverfolgung und Zuglenkung durch ein operatives Fahrplansystem ergänzt werden. Dieses Fahrplansystem steuert die Zuglenkungen in Abstimmung mit einem vom Betreiber vorgegebenen Betriebstagesfahrplan automatisch hinsichtlich Fahrweg und Fahrplanzeit. Eine Reihe von weiteren neuen Automatisierungsfunktionen bietet sich mit der Integration dieses operativen Fahrplansystems an. Insbesondere zusammen mit dem Zugbeeinflussungssystem Trainguard MT kann das operative Fahrplansystem in einem hohen Maß zur Automatisierung beitragen, indem es z.B. Vorgaben zu optimierten Halte- und Fahrzeiten der Züge gemäß Fahrplanlage macht.

Das hier beschriebene operative Fahrplansystem mit dem Produktnamen Controlguide Vicos OC 100 TTP (Time Table Processor) kommt bei Kunden in allen Kontinenten, mit Ausnahme Australiens, zum Einsatz. Dieses operative Fahrplansystem ist eine Ergänzung des bestehenden Betriebsleitsystems Vicos OC 100 (Vehicle and Infrastructure Control and Operating System – Operation Commuter/Subway) [1].

## Funktionen

### Automatische Zugnummernzuordnung gemäß Fahrplan

Üblicherweise muss an Systemgrenzen der Zuglaufverfolgung die Zugnummer als eindeutige Kennung erstmalig einer Zugbewegung zugeordnet werden. Um diese Ersterstellung und Zuordnung der Zugnummer nicht manuell vornehmen zu müssen, kann das operative Fahrplansystem einer Zugbewegung ohne gültige Kennung bei Einbruch in das System auto-

matisch eine Zugnummer zuordnen. Diese wird gemäß aktueller Systemzeit und dem zugrunde liegenden Fahrplan ausgewählt.

Diese automatische Zugnummernzuordnung kann sowohl bei Einbruch aus einem benachbarten Streckenabschnitt oder bei Einbruch von einer Depotstrecke angewendet werden. Es können auch sogenannte Zugnummernstapel benutzt werden, in denen schon die nächsten  $n$ , gemäß Fahrplan erwarteten Zugnummern eingetragen werden und bei erster Zugbewegung im System jeweils eine solche Zugnummer aus dem Zugnummernstapel mitgenommen wird.

Als weitere Variante der automatischen Zugnummernzuordnung kann auch die bestehende Zugnummer eines Zuges, der sich in einem Abstellgleis befindet, aufgrund einer gemäß Fahrplan dort erwarteten, startenden Zugfahrt in eine Zugnummer umbenannt werden. Diese Zugnummernänderung wird eine konfigurierbare Zeit vor der erwarteten Abfahrt durchgeführt. Letztlich kann eine automatische Zugnummernzuordnung für eine unbekannte Zugbewegung oder für eine startende Zugfahrt auch über den Abgleich einer physikalischen Zugkennung abgesichert werden. Dabei muss vorher im Fahrplan die physikalische Zugkennung der eigentlichen Zugnummer zugeordnet sein. Dann kann das operative Fahrplansystem diese Zuordnung auch in der Realität vornehmen, wenn die physikalische Zugkennung von der Zuglaufverfolgung übermittelt wird.

### Zuglenkung gemäß Fahrplan

Durch TTP wird ein zeitgerechtes Stellen der Fahrstraßen gewährleistet. Das bedeutet, dass Ausfahrstraßen aus Stationen nicht zu früh gestellt werden, sondern zeitgerecht eine konfigurierbare Zeit vor der geplanten Abfahrt. Diese Funktionalität sorgt z.B. dafür, dass fahrstraßenabhängige Bahnübergänge nicht zu früh geschlossen werden. Fahrwege werden erst dann beansprucht, wenn sie wirklich gebraucht werden.

Früher, in Zeiten ohne operatives Fahrplansystem, wurden die Zugfahrwege anhand der Zugnummer und konfigurierter Fahrwege gemäß Zugnummernschema bestimmt. Mit dem operativen Fahrplansystem TTP sind die Fahrwege im Fahrplan anhand der Folge von Stationsgleisen hinterlegt. Wenn explizit zwischen zwei Stationen nicht der Hauptfahrweg gewählt werden soll, kann dies auch im Fahrplan hinterlegt werden. Auf diese Weise

bestimmt sich der Fahrweg allein aus dem für die Zugnummer hinterlegten Fahrplan und ist unabhängig von einem Zugnummernschema. Im Fahrplan des operativen Fahrplansystems TTP können zusätzlich Fahrwegalternativen anhand alternativer Stationsgleise geplant werden. Das bedeutet, dass dann für den entsprechenden Zug automatisch diese Fahrwegalternative gewählt wird, wenn der eigentliche Fahrweg gerade nicht zur Verfügung steht, weil dieser z.B. durch einen anderen Zug belegt ist. Also muss der Fahrdienstleiter bei solchen Belegungskonflikten nicht eingreifen, wenn der Zug durch automatische Nutzung der Fahrwegalternative in einer Station ausnahmsweise in ein anderes Stationsgleis einfährt.

### Fahrdienstleiter-Arbeitsplatz

Eine wichtige Fahrplanfunktionalität am Fahrdienstleiter-Arbeitsplatz ist die Anzeige von Verspätungsinformationen für die aktiven Züge. Dabei wird die Zugnummer eines Zuges entsprechend konfigurierter Verspätungskorridore eingefärbt. Die Verspätung kann auch numerisch an die Zugnummer angehängt werden oder bei Selektion der Zugnummer in einem Dialogfenster dargestellt werden. An Stationsausfahrtsignalen besteht die Möglichkeit, TTP-Prognosedaten anzuzeigen. Dabei werden die in der entsprechenden Station erwarteten nächsten  $n$  Züge aufgelistet mit der planmäßigen Ankunfts- und Abfahrtszeit, der erwarteten Ankunftszeit und erwarteten Aufenthaltszeit (Abb. 1). In Projekten mit Trainguard MT (s. unten) wird in der Prognoseberechnung auch berücksichtigt, dass die Verspätung durch erwartete kürzere Halte- und Fahrzeiten im weiteren Verlauf verringert werden kann. In den anderen Projekten wird zur Prognose die aktuelle Zugverspätung direkt auf die planmäßige Ankunftszeit der nächsten Stationen aufsummiert. Zur Anzeige der Zeit-Weg-Linien kann die Oberfläche des operativen Fahrplansystems am Fahrdienstleiter-Arbeitsplatz dargestellt werden (Abb. 2). Die Zeit-Weg-Linien haben die üblichen Anzeigemöglichkeiten für die Solllinien, Istlinien und Prognoselinien. Es besteht die Möglichkeit des Zoomens, der Kommentierung und der individuellen Konfiguration der Liniendarstellung. Es gibt Warnungsfunktionen durch TTP am Fahrdienstleiter-Arbeitsplatz, die auf spezielle Zustände hinweisen. Zum Beispiel gibt es die Möglichkeit, immer dann eine Warnung anzuzeigen, wenn für einen Zug die Haltezeit

in einer Station abgelaufen ist und das Ausfahrtsignal bereits auf Grün steht, der Zug aber trotzdem in einem konfigurierbaren Zeitraum danach noch nicht abfährt.

### Fahrgastinformation

Da beim automatischen Fahren auch die Halte- und Fahrzeiten automatisch je nach Fahrplanlage des betreffenden Zuges festgelegt werden, kann darauf basierend eine relativ exakte Prognose für die Ankunft in den nächsten Stationen berechnet werden. Das System TTP ermittelt die erwarteten Ankünfte und Abfahrten in den nächsten Stationen aufgrund aktueller Fahrplanlage, erwarteter Halte- und Fahrzeiten sowie der Rückmeldung des Zuges bezüglich seiner Fahrzeit bis zur aktuell nächsten Station. Da dies für alle aktiven Züge gemacht wird, kann TTP auch pro Station eine Liste der nächsten erwarteten n Züge erstellen, die auch für die Fahrgastinformation verwendet werden kann. Dabei kann die Anzahl n konfiguriert werden. Die Liste der nächsten erwarteten n Züge kann zusätzlich zum Datentransfer zu einem Fahrgastinformationssystem auch am Fahrdienstleiter-Arbeitsplatz angezeigt werden (s. oben). Wenn konfiguriert, dann wird diese Liste bei einem Klick auf ein Stationsausfahrtsignal in einem Pop-up-Fenster angezeigt. Der Fahrdienstleiter sieht also auf diese Weise, welche Züge als nächstes gemäß aktueller Fahrplanlage in einer gewählten Station erwartet werden (Abb. 1).

Sollte ein Zug aufgrund einer Nichtverfügbarkeit des ersten geplanten Gleises in einer Station in ein alternatives Gleis einfahren, so wird der Eintrag des erwarteten Zuges sofort nach Einstellen der Fahrstraße in das alternative Gleis auch dem entsprechenden alternativen Ausfahrtsignal zugeordnet. Die Fahrgäste werden also auf diese Weise über die kurzfristige Gleisänderung informiert.

### Automatisches Fahren mit Trainguard MT

Im Zusammenhang mit dem Trainguard MT-Zugbeeinflussungssystem, das für automatisches Fahren vorgesehen ist, interagiert das Fahrplansystem TTP auf verschiedene Weise mit Trainguard MT. Die wesentlichen Funktionen werden dabei in diesem Abschnitt beschrieben. Bei jeder Zugankunft in einer geplanten Station, die ein automatisch geführter Zug an TTP meldet, wird von TTP die Fahrplanlage des Zuges bestimmt. Dann werden in vorgegebenen Grenzen die Halte- sowie Fahrzeit bis zur nächsten Station optimiert, um den Zug möglichst pünktlich zu halten. Bezüglich der optimierten Fahrzeit bis zur nächsten Station bekommt TTP vom Zug eine Rückmeldung darüber, ob und wenn ja, wie viele Sekunden Abweichung von der geforderten Fahrzeit zu erwarten sind. In dem Datentelegramm von TTP an den Zug mit den Halte- und Fahrzeiten wird auch die Zielplattform in der nächsten Station übermittelt und die Information, ob es eine geplante Durchfahrt in dieser nächsten Station gibt. Wei-

terhin können Haltepunktvorgaben in dem Datentelegramm gesendet werden.

Die absolute Verspätung ist die Verspätung eines Zuges gegenüber der geplanten Ankunfts- bzw. Abfahrtszeit, die TTP bei Ankunft bzw. Abfahrt misst. Mit der relativen Verspätung ist die Abweichung gemeint, die der automatisch geführte Zug an TTP zurückmeldet und sich auf die Einhaltung der geforderten optimierten Fahrzeit bezieht. TTP ist dafür verantwortlich, diese relative Verspätung unter Berücksichtigung der geforderten Fahrzeit in die absolute Verspätung des Zuges umzurechnen.

Wenn verschiedene Zugtypen verschiedene Zuglängen besitzen, ist die Vorgabe passender Haltepunkte in den Stationsplattformen angebracht. Zu diesem Zweck sendet TTP in dem Datentelegramm mit den optimierten Halte- und Fahrzeiten zusätzlich Vorgaben für den anzusteuenden Haltepunkt in Abhängigkeit des vom Zug gemeldeten Zugtyps.

Zum automatischen Fahren ist die Unterscheidung verschiedener Kehrstrategien notwendig. Der automatisch geführte Zug bekommt daher, initiiert von TTP, in den Stationsplattformen ein bestimmtes Wendekommando, wo laut Fahrplan auch wirklich der Richtungswechsel zu erfolgen hat. Je nachdem, welcher Führerstand des automatischen Zuges während der Wende aktiv bleiben soll, gibt es unterschiedliche Wendekommandos. Es sind auch sogenannte Zickack-Wenden möglich, in denen der Zug mit einer doppelten Wende das Hauptfahrgleis wechselt. Auch dafür müssen durch TTP entsprechende Kommandos an den Zug, bei denen jeweilige Richtungswechsel gesendet werden.



Abb. 1: Prognosedaten am Stationsausfahrtsignal

Ein sehr komplexes Thema ist die Fahrplanunterstützung beim Kuppeln und Trennen. Beim Kuppeln muss dem zweiten, dritten etc. Zug erlaubt werden, auf einen zu kuppelnden Zug langsam aufzufahren. TTP initiiert für die ankommenden zweiten, dritten etc. Züge die entsprechenden Kommandos. Sind alle geplanten, zu kuppelnden Züge in der Kuppelstation angekommen und sind alle physikalischen Kuppelvorgänge abgeschlossen, sodass nur noch ein Zug mit einer „Fehlzugnummer“ vorhanden ist, so ersetzt TTP automatisch diese Fehlzugnummer mit der im Fahrplan geplanten Zugnummer für den komplett gekuppelten Zug. Beim Trennen eines Zuges in zwei, drei oder mehr Teile ist die automatische Zugnummernvergabe komplizierter: Der angekommene volle Zug wird ggf. mehrfach physikalisch geteilt. TTP kann aber erst bei vollständiger Teilung wissen, welchem Zugteil welche neue Zugnummer automatisch zuzuordnen ist.

Damit der Fahrer auf seinem Display auch über den weiteren Fahrtverlauf informiert wird, sendet TTP bei jeder Änderung (Zugnummernwechsel, Änderung der Stationen, Änderung von Abfahrtszeiten) den individuellen Fahrplan an den Zug. Weiterhin werden für jede übermittelte Station bzw. jedes Stationsgleis auch folgende Attribute angegeben:

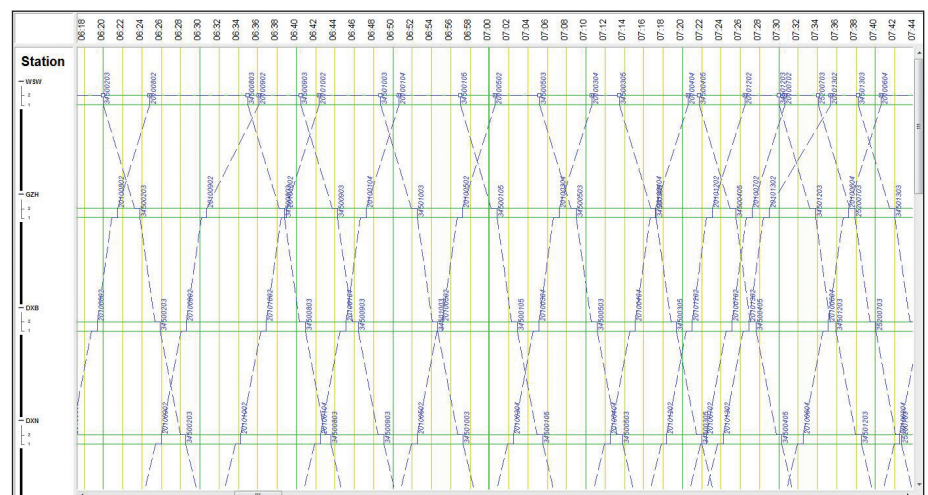


Abb. 2: Zeit-Weg-Linien realer Zugverläufe

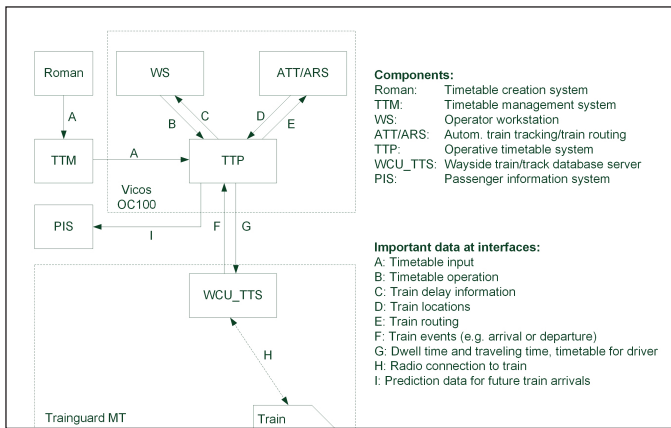


Abb. 3: Systemübersicht aus der Perspektive des Fahrplansystems TTP

- Endstation der Fahrt
- letzte Passagierstation der Fahrt
- Station mit geplantem Kuppeln
- Station mit geplantem Trennen
- übersprungene Station.

Bezüglich des gesamten Fahrplans wird auch übermittelt, ob sich der Zug im Headway-Modus befindet. Es kann eine Bestätigung durch den Fahrer bei jeder Änderung des individuellen Fahrplans durch TTP abgefragt werden. Bei Fahrerwechsel wird diese Bestätigung erneut abgefragt.

Nach Information durch TTP wird am Fahrdienstleiter-Arbeitsplatz angezeigt, ob der individuelle aktuelle Fahrplan gegenüber dem ursprünglich geplanten Fahrplan geändert wurde und wenn ja, ob die Änderung vor Kurzem oder vor Längerem geschah, wobei dieser Zeitraum konfigurierbar ist.

Wenn im Fahrplan das Abstellen nach Ende einer Zugfahrt oder das Aufwecken vor Beginn einer neuen Zugfahrt vorgesehen ist, sendet das Fahrplansystem TTP ein entsprechendes Kommando an den Trainguard MT-Zug, um die jeweils erforderlichen Prozeduren einzuleiten. Auf diese Weise kann z.B. Energie gespart werden, wenn die Züge abgestellt und die nicht mehr benötigten Systeme heruntergefahren werden.

Im fahrerlosen Betrieb sendet das Fahrplansystem TTP für eine Zugfahrt ein spezielles Kommando an die letzte Station mit Passagierhalt vor der Ausfahrt in ein Depot. Auf diese Weise wird verhindert, dass der Zug fahrerlos ins Depot fährt, obwohl ggf. nicht alle Passagiere den Zug verlassen haben. Die Weiterfahrt des Zuges wird daher erst durch einen manuellen Schalter erlaubt, wenn der Bediener geprüft hat, ob alle Passagiere ausgestiegen sind.

Wenn in einem Projekt erst teilweise für einen bestimmten Streckenbereich das Zugbeeinflussungssystem Trainguard MT und das Fahrplansystem TTP installiert werden, so ist es meistens notwendig, eine Stelle bzw. Station zu definieren, an dem der Übergang von dem alten bestehenden Zugbeeinflussungssystem zu Trainguard MT vollzogen wird. Die speziellen, notwendigen Abläufe des Übergangs werden von Fahrplanseite durch das

dass Fahrstraßen auch in einen von einem vorausfahrenden Zug belegten Abschnitt gestellt werden können, da die Züge selbst für den nötigen Sicherheitsabstand sorgen können. Nun kann es aber in diesem Fall zu unerwünschten Deadlocks kommen, wenn ein vorausfahrender Zug planmäßig in einer Station wenden und in Gegenrichtung ausfahren soll. Damit in einem solchen Fall für den nachkommenden Zug die Fahrstraße noch nicht gestellt wird, kommandiert aufgrund der Fahrplansituation das operative Fahrplansystem TTP die Zuglenkung entsprechend. Wenn der vorausfahrende Zug die Station wieder in Gegenrichtung verlassen hat, kann die Fahrstraße für den nachfolgenden Zug eingestellt werden. Auf diese Weise wird ein Deadlock zwischen diesen beiden Zügen vermieden.

### Headway-Modus

Häufig äußern Kunden den Wunsch der Realisierung eines sogenannten Headway-Modus, der nach größeren Störungen im Betrieb angewendet werden kann. Bei Anwendung dieses Modus sorgt das operative Fahrplansystem TTP dafür, dass die Fahrwege der Züge aus dem Fahrplan zwar noch relevant sind, aber die geplanten Ankunfts- und Abfahrtszeiten nicht mehr zur automatischen Zugregulierung benutzt werden. Stattdessen werden die Abfahrten der Züge aus den Stationen automatisch so reguliert, dass ein möglichst konstanter Abstand (=Headway) zwischen den Zügen hergestellt wird.

### Reihenfolgeregelungen

Wenn im Fahrplan explizite Wartebedingungen zwischen einzelnen Zugfahrten hinterlegt sind, kann z.B. an Einfädelstationen anhand TTP garantiert werden, dass Zug A vor Zug B abfährt, auch wenn Zug A so verspätet ist, dass ohne automatische Wartebedingung Zug B vor Zug A abfahren würde.

Auch für Anschlussbeziehungen mit Passagierumsteigegarantie eignen sich Wartebedingungen, die bereits im Fahrplan definiert sind. Diese Wartebedingungen werden vom operativen Fahrplansystem TTP automatisch so umgesetzt, dass der Anschlusszug nicht vor Ankunft des Zubringerzuges inklusive Umstei-

gezeit abfahren kann.

Bei allen Varianten der Anwendung von Wartebedingungen sorgt TTP sowohl dafür, dass über die Zuglenkung die Folgefahrstraße des wartenden Zuges noch nicht eingestellt wird, als auch in Projekten mit Trainguard MT, dass die Haltezeit des Zuges automatisch bis zur Auflösung der Wartebedingung verlängert wird.

Im Headway-Modus (s. oben) kann die folgende Variante von Wartebedingungen angewendet werden. Im Fahrplan sei jeder Zugfahrt eine Zuglinie zugeordnet, die den Fahrweg des Zuges bestimmt. An Einfädelstationen kann ein Schema von Zuglinienreihenfolgen (z.B.: Linie 1 – Linie 1 – Linie 2) hinterlegt werden. Das operative Fahrplansystem sorgt bei Aktivierung dieses Schemas dann mittels entsprechender Wartebedingungen dafür, dass die Züge nach diesem Reihenfolgeschema an der Einfädelstation auf die Strecke fahren.

### Projekt S-Bane Kopenhagen

Im Projekt S-Bane Kopenhagen kommt ein Fahrplanerstellungssystem Roman und ein Fahrplanmanagementsystem Controlguide TTM zum Einsatz. Diese Systeme liefern letztendlich die Fahrpläne für das operative Fahrplansystem TTP über den Weg Roman > Controlguide TTM > TTP. Fahrplanänderungen am aktuell geladenen Fahrplan können auch über diesen Weg an TTP gesendet werden. TTP benutzt immer den aktuellsten Fahrplan für die operative Fahrplansteuerung.

Abb. 3 gibt eine Systemübersicht mit den Komponenten und Schnittstellen im Zusammenhang mit TTP wieder.

### Ausblick

Im vorderen Teil des Beitrags werden die wichtigsten Funktionen des operativen Fahrplansystems TTP behandelt. Unter anderem durch die Anwendung dieses operativen Fahrplansystems TTP kann die Automatisierung im schienengebundenen Verkehr weiter gesteigert werden. In dem oben genannten Projekt S-Bane in Kopenhagen ist zwar noch ein Fahrer im Führerstand vorgesehen, aber prinzipiell kann auch vollautomatisches Fahren durch das operative Fahrplansystem zusammen mit dem Zugbeeinflussungssystem Trainguard MT gewährleistet werden. Ein weiteres Projekt mit diesem Ziel der Vollautomatik ist bereits in Vorbereitung. ■

### QUELLEN

[1] Hahn, W.; Erdmann, D.; Kolbe, R.; Orloff, A.; Otto, R.; Roer, R.: Technologie und Architektur des Betriebsleitsystems Vicos OC 100, SIGNAL+DRAHT, Heft 5/1999



Dr. Martin Harborth

Systementwickler für  
Betriebsleitsysteme  
Siemens Mobility  
martin.harborth@siemens.com