## Haltezeiten gezielt analysieren und optimieren

Halte mit kurzer Dauer und zugleich hoher Planeinhaltung steigern die Wettbewerbsfähigkeit der Eisenbahn. Um beide im Spannungsfeld befindlichen Ziele zu erreichen, bedarf es einer umfassenden Analyse und eines wirksamen Paketes an Maßnahmen. In der Praxis zeigt sich, dass die Erfassung des Halteprozesses am Bahnsteig eine Schlüsselrolle in einer effektiven Untersuchungs- und Bestimmungsmethodik einnimmt.

#### \_\_\_\_\_

#### 1. Ausgangssituation

Die geplanten Haltezeiten machen zwischen 10 und 15% der gesamten Beförderungszeit im Eisenbahnverkehr aus. Ferner bestimmen sie die verfügbaren Kapazitäten in den Bahnhöfen maßgebend. Aufgrund gestiegener Auslastung der Züge ist die Anzahl der ein- und aussteigenden Fahrgäste je Zug und Tür angewachsen und wird mit den aktuellen Entwicklungszielen in vielen Ländern weiter ansteigen. Dies wirkt sich auf die Dauer und Planeinhaltung der jetzigen Halteprozesse aus. Aus verschiedenen Praxisprojekten heraus werden im Folgenden eine Analysemethodik mit Vor-Ort-Messungen vorgestellt und ein Maßnahmenpaket zum Erreichen der oben genannten Ziele aufgezeigt. Bevor auf diese Aspekte eingegangen wird, werden die Regelwerke und der Stand der Forschung umrissen.

Dieser Artikel ist eine gekürzte Fassung des als [1] veröffentlichten Beitrags, inkl. anschließender Fortschreibung.

## 2. Haltezeitbestandteile und Methoden zu deren Bemessung

Die planmäßige Haltezeit (Hz) summiert sich aus der Mindesthaltezeit (MHz) und etwaigen Haltezeitreserven. Die MHz besteht aus der erwarteten Zeit für:

- 1. Türöffnen und Fahrgastwechsel
- 2. Abfertigung inklusive Türschließen

Die maßgebliche Einflussgröße für die MHz kann aber auch die Dauer für betriebliche Prozesse sein (wie z.B. Wenden, Triebfahrzeugführerwechsel). Richtlinien der meis-Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) bzw. der korrespondierenden Verwaltungen führen Näherungswerte für die einzelnen Haltezeitbestandteile auf und geben vor, welche MHz bei der Trassenbestellung vom Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) nicht unterschritten werden dürfen. Es wird aber bei den meisten EIU und EVU keine Vorgabe gemacht, dass die Dimensionierung der MHz einer gewünschten Einhaltewahrscheinlichkeit im Betrieb entspricht. Eine Berücksichtigung von im Betrieb oftmals auftretenden Leerlaufzeiten z.B. aufgrund von anderweitigen Störungen oder Zugfolgekonflikten wird bei der Bemessung der Fahrplan-MHz oder der Haltezeitreserven i.d.R. nicht eingefordert.

Die volatilste Komponente der MHz ist die Fahrgastwechselzeit (FGWz), da diese von einer Vielzahl von Einflüssen abhängig ist (vgl. Bild 1). Um diese zu bestimmen gibt es verschiedene Herangehensweisen, die in drei Verfahren klassifiziert werden können (vgl. Bild 2).

Messung: Mit einer repräsentativen Stichprobe können über Auswertung der kumulierten Häufigkeiten und weiterer Merkmale eine geeignete FGWz- und Hz je Zug und Bahnhof ermittelt werden. Eine Kenntnis über die genaue Anzahl der Einund Aussteiger je Halteereignis ist nicht zwingend erforderlich.

Messung und Berechnung: Auf diesem Prinzip basiert unter anderem das Rechenmodell von CORNET. Am Beispiel zweier U-Bahn-Linien werden an vielen Stationen



Lars Ullrich
Projektingenieur VIA Consulting
& Development GmbH
I.ullrich@via-con.de



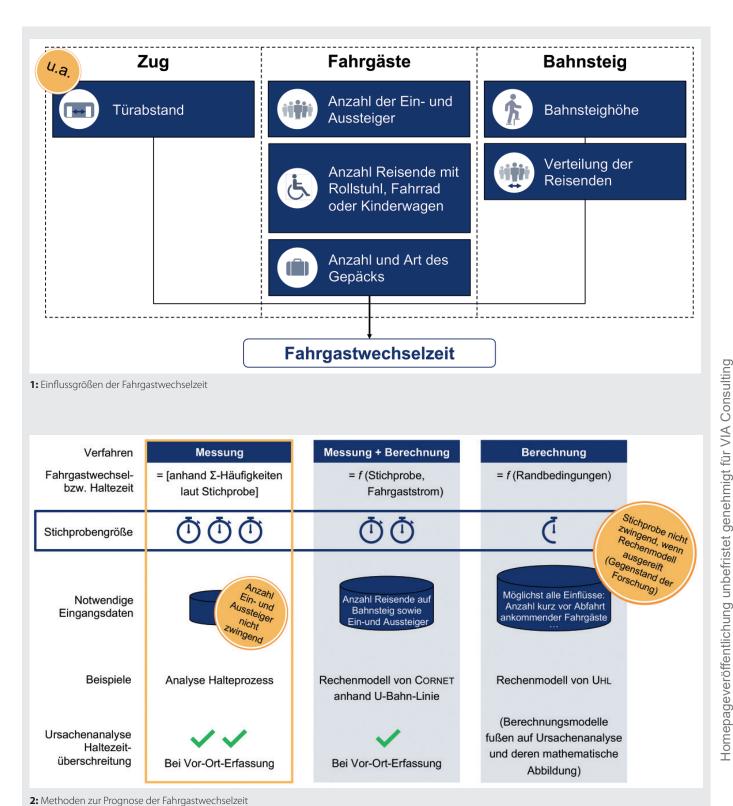
**Dr.-Ing. Thorsten Büker**Geschäftsführer VIA Consulting & Development GmbH
th.bueker@via-con.de



Christoph Güdelhöfer Softwareentwickler VIA Consulting & Development GmbH c.quedelhoefer@via-con.de

FGWz/Hz-Stichproben erhoben, wobei zu jedem Halteereignis mittels automatischen Zählsystemen die Anzahl der Einund Aussteiger sowie der Besetzungsgrad des Zuges vorliegt. Die erste Erkenntnis ist, dass die FGWz stark schwanken und das zu einem großen Teil unabhängig vom Fahrgaststrom. Nur eine untere Schwelle der FGWz/Hz ist in jeder Stichprobe vorhanden, die mit der Anzahl der Ein- und Aussteiger und dem Besetzungsgrad im Zug korreliert. Darauf aufbauend wird eine kumulierte Verteilungsfunktion je Stichprobe abgeleitet. Diese ermittelte Hz-Funktion ist

10



aber nicht auf andere Linien übertragbar, sondern gilt nur für die gemessene Station, Richtung und Fahrzeuggarnitur [2].

Für ein Praxisprojekt wurde auch nach dem Prinzip Messung und Berechnung ein eigenes Rechenmodell auf Basis von RUE-GER und WEIDMANN entwickelt, um für eine Stichprobe die FGWz bei veränderten Gehgeschwindigkeiten zu prognostizieren [3, 4].

Berechnung: Gegenstand der Forschung ist, allein durch die Eingabe von Randbedingungen die FGWz treffsicher prognostizieren zu können ohne zwingend auf eine FGWz-Stichprobe angewiesen zu sein. Das sich in Weiterentwicklung befindliche Fahrgastwechselzeitmodell von UHL hat genau dies zum Ziel, was auch dessen Detailtiefe bedingt: u.a. geht die Anzahl kurz vor Abfahrt ankommender Fahrgäste in das Rechenmodell ein, um damit die

www.eurailpress.de/etr ETR | März 2020 | NR. 3 11

Wahrscheinlichkeit einer Unterbrechung des Abfertigungsprozesses zu bestimmen. Erste Validierungen anhand der S-Bahn Stuttgart zeigen vielversprechende Ergebnisse [5].

Bei den durchgeführten Praxisprojekten des Regional- und Fernverkehrs ist die Verfahrensweise "Messung" und deren Auswertung am häufigsten genutzt worden. Zum einen liegen genaue Fahrgastzählungen je Halteereignis häufig nicht vor oder sind zu aufwendig zu erheben. Zum anderen stehen oftmals die Ursachenanalyse für die Haltezeitüberschreitungen (HZÜ) und die Ableitung gezielter Gegenmaßnahmen im Vordergrund. Hierzu eignet sich deshalb besonders eine Kombination aus Betriebsdatenauswertung mit Messungen vor Ort.

#### 3. Erfassungen am Bahnsteig

Während aus Betriebsdaten allein Aussagen getroffen werden können, bei welchen Bahnhöfen und Linien häufig HZÜ auftreten, liefern Vor-Ort-Erhebungen wesentlich genauere Informationen zu den Ursachen und Zeitanteilen. Zumal die meist aus Stellwerkslogik gefütterten und interpolierten Betriebsdaten teilweise von den tatsächlichen Zeiten signifikant abweichen können. Eine Verbesserung der Betriebsdatenqua-

### Vor-Ort-Erhebungen liefern Informationen zu den Ursachen und Zeitanteilen.



lität stellt immer ein Gewinn für jedwede Analyse dar.

#### 3.1. Methodik und Umfang

In verschiedenen Praxisprojekten des Fernund Regionalverkehrs im In- und Ausland hat sich folgende Erhebungsmethodik als sinnvoll erwiesen. Dabei ist für die Erfassung der Halteverlauf in zwei Teilprozesse untergliedert:

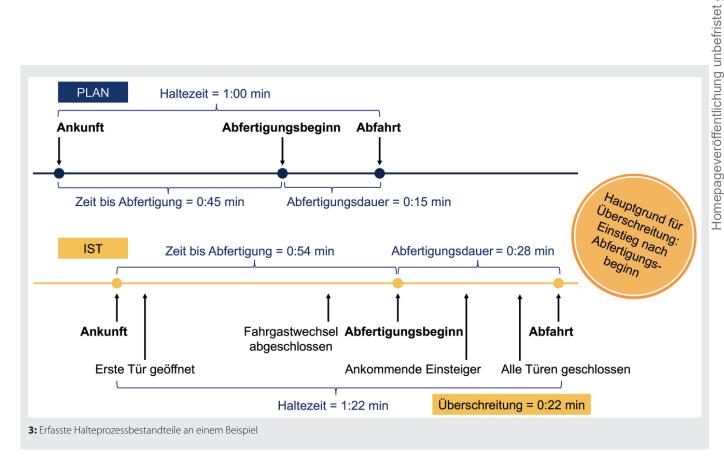
- Stillstand der R\u00e4der bis Abfertigungsbeginn (inkl. Fahrgastwechsel)
- 2. Abfertigungsprozess (bis Räder rollen)

Beide Prozessteile haben unterschiedliche Randbedingungen: Die Abfertigung kann nur beginnen, wenn der Fahrgastwechsel bzw. alle betrieblichen Prozesse abgeschlossen sind und das Signal Fahrt zeigt (Letzteres ist nicht in jedem Land zwingend). Der Abfertigungsprozess startet entweder mit einer Bandansage/Achtungspfiff oder wird direkt mit dem Beginn des Türschließens eingeläutet. Bei Überschreitung einer der Prozessteile werden die beobachteten Gründe festgehalten. Aus diesen kann der maßgebende Grund für die HZÜ bestimmt werden (vgl. Bild 3).

Liegt bei einer großen HZÜ eine Ursachencodierung in den Betriebsdaten vor, wird diese mit in die Auswertung des Ereignisses integriert. Hinzukommen weitere Merkmale, die bei Vor-Ort-Erhebungen festgehalten und analysiert werden, u. a:

- Wie viele Personen mit Rollstuhl oder Fahrrad?
- In welchen Abschnitten tritt Pulkbildung auf?

Die Erhebungen am Bahnsteig eignen sich insbesondere dafür die tatsächlichen MHz, die für den reinen Fahrgastwechsel und die O Abfertigung notwendig sind, zu messen. Dadurch können Leerlaufzeiten im Halteprozess herausgefiltert werden, die durch diverse Gründe während des Halts auftreten. Dies ermöglicht eine Unterscheidung bei der Auswertung. Um diese Methodik



12 ETR | März 2020 | NR.3 www.eurailpress.de/etr

vollumfänglich vor Ort umzusetzen eignet sich eine App-basierte Erfassung.

#### 3.2. Nutzung einer spezialisierten Applikation

Der Bearbeiter erfasst dabei alle Zeitwerte und Daten über ein Tablet mit einer eigens dafür entwickelten App, adaptiert an die jeweilige Aufgabenstellung verschiedener Bahnbetreiber. Dabei ermöglicht die App die gleichzeitige Erfassung und Überwachung mehrerer Prozessschritte u.a. Überschreitung des planmäßigen Abfertigungsbeginns, der geplanten Abfertigungsdauer sowie ihrer jeweiligen Gründe. Dem Nutzer wird angezeigt, ob und wann Daten für diese Prozesse erhoben werden sollen z. B. weil Sollwerte überschritten wurden. Gleichfalls erfolgt während der Erhebung eine Plausibilitäts- und Vollständigkeitsprüfung der eingegebenen Daten. Die digitale Erfassung vor Ort sorgt somit für einen Informationsgewinn mit hoher Datenqualität.

#### 4. HZÜ-Gründe und Gegenmaßnahmen

Mit Hilfe obiger Methodik zeigt sich bei den verschiedenen Praxisprojekten, dass bei einigen Bahnhöfen eine häufige und systematische Überschreitung der Hz vorliegt. Neben Warten auf Anschluss und technischen Problemen stellen Halt zeigende Signale und lang andauernder Fahrgastwechsel die maßgeblichen Ursachen dar. Um gegenzusteuern zeigen sich aus den Messprojekten unter anderem folgende Optionen als vielversprechend:

Um die HZÜ aufgrund von Zugfolgekonflikten zu reduzieren, sind oftmals kapazitätssteigernde Investitionen in den jeweiligen Knotenbahnhöfen notwendig. Des Weiteren kann als günstigere (und schneller realisierbare) Option eine Fahrtbegriffsprognose helfen. Dies bedeutet, dass der Zugbegleiter z.B. mittels eines zusätzlichen Signals über einen bevorstehenden Wechsel des Hauptsignals auf Fahrt rechtzeitig informiert wird. Er kann mit der Abfertigung bei noch Halt zeigendem Hauptsignal beginnen, sodass der Zug abfahrbereit ist, sobald es Fahrt zeigt.

Zur Reduzierung der FGWz gibt es verschiedene Maßnahmen:

- Zum einen sind höhengleiche Einstiege geeignet. Dieses Konzept wird für kurze FGWz eine immer wichtigere Rolle einnehmen, da aufgrund des demographischen Wandels und des fortschreitenden barrierefreien Zugangs zu Bahnsteigen die Anzahl der mobilitätseingeschränkten Reisenden zunehmen wird. Ohne stufenfreie Einstiege wird die Anzahl an Hilfeleistungen mit Hublift oder Überfahrblech für Reisende mit Rollstuhl ansteigen mit signifikanten Auswirkungen auf die Haltezeitdauer.
- Durchbindungskonzepte in Knotenbahnhöfen anstelle von endenden und beginnenden Linien verkleinern die Anzahl der Umsteiger generell und somit auch die FGWz.





# THE FUTURE OF MOBILITY

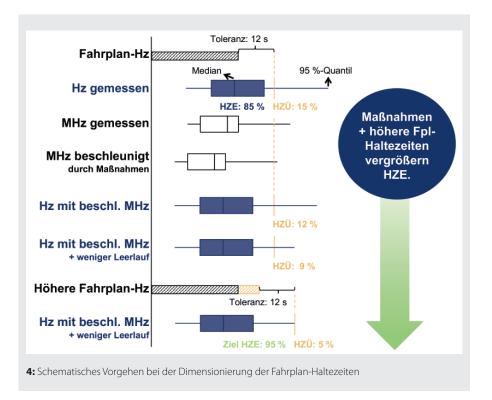
KONTAKT
Messe Berlin GmbH
Messedamm 22 · 14055 Berlin
T +49 30 3038 2376
innotrans@messe-berlin.de

IIIII Messe Berlin

wnloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten

& Development GmbH / Rech

genehmigt von



- Eine weitere wirkungsvolle Maßnahme ist eine bessere Verteilung der Reisenden durch z.B. zusätzliche Bahnsteigzugänge und verbesserte Anzeigen über Halteposition der Wagen(-nummer).
- Da die meisten Fahrgäste sich unter dem Bahnsteigdach aufhalten [6], verbessern auch zusätzliche überdachte Bereiche die Verteilung.
- Auch der Einsatz von Reisendenlenkern hat in vielen Ländern zu einer Erhöhung der Pünktlichkeit geführt. Unter anderem sperren diese ab Beginn des Türschließens den Zutritt zu den Türen auf Höhe der Bahnsteigzugänge, sodass die Verzögerungen durch Reisendenwechsel nach Abfertigungsbeginn reduziert werden.

#### 5. Optimierung der Haltezeitbemessung im Fahrplan

Um die Planmäßigkeit sicherzustellen, ist neben einem Maßnahmenpaket zur Reduzierung der tatsächlichen Hz auch die Integration dieser in den Fahrplan notwendig. Um dies zu kombinieren ist folgendes Vorgehen möglich: Wie im vorigen Kapitel beschrieben können die tatsächlichen MHz durch Maßnahmen reduziert werden, die den reinen Fahrgastwechsel und die Abfertigung beschleunigen (z.B. zusätzliche Bahnsteigüberdachung). Auf dieser Basis

können durch Nutzung geeigneter Rechenmodelle korrespondierende Fahrplan-Hz mit beschleunigter MHz prognostiziert werden. Werden weitere Maßnahmen zur Reduzierung von Leerlaufzeiten festgelegt (z.B. Fahrtbegriffsprognose), kann von nochmals niedrigeren Hz ausgegangen werden. Um die Lücke zwischen möglichem Maßnahmenpaket und dem gesetzten Ziel der HZE zu schließen, sind teils aber auch längere Fahrplan-Hz notwendig. Eine

schematische Darstellung dieser Vorgehensweise auf Basis einer Hz-Stichprobe inkl. erfasster tatsächlicher MHz zeigt Bild 4.

Auch wenn die Kapazitäten in den Knoten ausgeschöpft sind und höhere Fahrplan-Hz nicht zulassen, wird trotzdem empfohlen, die notwendige Hz für eine anvisierte HZE bzw. Einhaltungsquote in bestehenden Trassenfahrplänen abzubilden. Erst dadurch werden strukturelle Unterschreitungen der Fahrzeitreserven und Pufferzeiten sowie Belegungskonflikte in Bahnhöfen sichtbar. Für diese können dann prioritär Gegenmaßnahmen abgeleitet werden.

### 6. Zusammenfassung

Die aufgezeigten Analyse- und Berechnungsmethoden können helfen, dem Ziel kurzer und gleichzeitig planmäßiger Haltezeiten näher zu kommen. Dabei unterstützen App-basierte Erhebungen am Bahnsteig, detaillierte Informationen unter anderem zu den Dauern der einzelnen Haltebestandteile sowie Gründe≤ für deren Überschreitung zu erfassen. Die gesammelten Daten können dann unter anderem dazu genutzt werden, ge-eignete Maßnahmen abzuleiten, welche die Haltezeiten reduzieren, oder längere Fahrplan-Haltezeiten anzusetzen, um eine b höhere Planeinhaltung zu erhalten. Durch 💆 Vorgabe einer verbindlichen Haltezeitein-haltungsquote kann ein Prozess der konti-nuierlichen Überwachung und Anpassung nuierlichen Überwachung und Anpassung in der Fahrplan-Haltezeiten angestoßen werden.

Literatur

[1] L. Ullrich, T. Büker, C. Güdelhöfer und J. Maldonado, "Haltezeiten – Analyse und Optimierung," in IRSA 2019: Tagungsband, Aachen, 2019.

#### Summary

#### Targeted analysis and optimization of holding times

The article presents methods of dwell-time analysis and dwell-time prognosis to support the goal of short dwell times with high plan adherence. An app-assisted data collection conducted on the railway platforms enables gathering of detailed information, e.g. of the actual passenger interchange times or the causes of delay for dwell-time exceedance. The data collected can then be used to derive e. g. suitable measures to shorten dwell times or to define realistic dwell times necessary for higher plan adherence. A mandatory compliance rate for dwell times could kick start a process of continued observation and adjustments of dwell times.

[2] S. Cornet, C. Buisson, F. Ramond, P. Bouvarel und J. Rodriguez, "Methods for quantitative assessment of passenger flow influence on train dwell time in dense traffic areas," in RailNorköpping 2019, Norrköping, 2019. [3] B. Rueger, Reisegepäck im Eisenbahnverkehr, Doktorarbeit, TU Wien, 2004.

[4] U. Weidmann, Grundlagen zur Berechnung der Fahrgastwechselzeit, ETH Zürich, 1995.

[5] J. Uhl und U. Martin. Dwell time forecast in railbound traffic," International Transportation, 2019. [6] J. Uhl, U. Martin und F. Hantsch, "Entwicklung eines bedienungstheoretischen Modells zur Bestimmung von Fahrgastwechselzeiten im spurgeführten Verkehr," in Grenzenlos(er) Verkehr - Tagungsband der 26. Verkehrswissenschaftlichen Tage, Dresden, 2018.

14