

Prozessorientierte Kapazitätsstudien für Zugbildungsanlagen und Industriebahnen

Mit steigendem Güterverkehrsaufkommen sollten Zugbildungsanlagen bei der Kapazitätsbetrachtung nicht vernachlässigt werden. Ein prozessorientierter Ansatz ermöglicht es, nach Abstraktion der Infrastruktur sowie Eingabe relevanter Parameter für Zugbewegungen und Abläufe eine Monte-Carlo-Simulation durchzuführen, um Aussagen zu Leistungsfähigkeit und Durchsatz zu treffen.



1. Einleitung

Das Umsortieren von Einzelwagen zwischen Güterzügen erfolgt hauptsächlich in Rangierbahnhöfen, die in manchen Fällen zugleich Satellitenbahnhof oder sogar Quellen/Senken des Aufkommens sind. Bei steigendem Güterverkehrsaufkommen sollten diese Zugbildungsanlagen bei der Kapazitätsbetrachtung des Netzes nicht vernachlässigt werden. Ein Bedarf, Aussagen zum möglichen Durchsatz der Anlage treffen zu können, ist am Markt vorhanden. Gängige Verfahren der Eisenbahnbetriebswissenschaft lassen sich dabei nicht übertragen, da die Produktionsprozesse zum Teil wesentlich abweichen.

Nachfolgend wird dies anhand eines Rangierbahnhofs dargestellt. Ziel ist einerseits, den Wagendurchsatz zu ermitteln, der eine Kenngröße für die Kapazität der Anlage darstellt. Andererseits ist von Interesse, den Einfluss einzelner Betriebs-tätigkeiten zu bestimmen. Insbesondere Belegungsdauer, entstehende Folgeverspätung und Häufigkeit der Belegung einzelner Infrastrukturabschnitte sind Indikatoren, mit welchen Engstellen detektiert werden können.

Mittels der Warteschlangentheorie für mehrkanalige Bediensysteme können mittlere Wartezeiten und Wartewahrscheinlichkeiten bestimmt werden, sofern die Ankunftszeiten der Züge und die Bedienzeiten auf der Infrastruktur bekannt sind [1, 2]. Damit werden allgemeine Aussagen zur Interaktion zwischen Infrastruktur und Betrieb möglich, die nicht an einen spezifischen Fahrplan gekoppelt sind. Im hier beschriebenen Anwendungsfall kann dies

insbesondere zur Dimensionierung der mehrkanaligen Bediensysteme nützen. Warteschlangentheorie wurde bereits für die Kapazitätsermittlung von Industrie- und Hafenbahnen angewendet [3]. Allerdings ist diese Methodik zur Abbildung des dortigen Geschehens nur eingeschränkt geeignet, da sie die Abbildung der betrieblichen Prozesse nicht vollumfänglich beherrscht. Auch ist eine Bemessung der Kapazität beispielsweise in Form von abgedrückten Wagen mittels dieser Methodik nur schwer abschätzbar.

Programme, wie z.B. Yamato, die die Disponierenden in Rangierbahnhöfen unterstützen, sind insbesondere dafür geeignet, Prozesse in Echtzeit zu optimieren und auf Grundlage der gerade verfügbaren Daten Prognosen zu treffen [4]. Zur Betriebssimulation auf Industrieanlagen können bereits auf dem Markt erhältliche Programme, wie z.B. Villon, zum Einsatz kommen. Diese zeichnen sich insbesondere durch einen hohen Detailgrad aus [5].

Im Gegensatz dazu ermöglicht das in diesem Artikel vorgestellte Verfahren, mittels einer kompakten Datenhaltung verschiedene Szenarien zu definieren, die das Betriebsgeschehen in einer Zugbildungsanlage abbilden. Dabei können verschiedene Prozesse und Prozessvariablen leicht angepasst werden. Zur Kapazitätsbestimmung werden im hier dargestellten Anwendungsfall die Anzahl der am Ablaufberg abgedrückten sowie die den Rangierbahnhof verlassenden Wagen herangezogen. Weiterhin können kritische Infrastrukturabschnitte detektiert werden.

In diesem Artikel wird zunächst auf die Prozesse in einem Rangierbahnhof und die



Philipp Scherer M. Sc.

Ingenieur bei quattron management consulting GmbH / VIA Consulting & Development GmbH
p.scherer@via-con.de



Daniel Meurer M. Sc.

Ingenieur bei quattron management consulting GmbH / VIA Consulting & Development GmbH
d.meurer@via-con.de



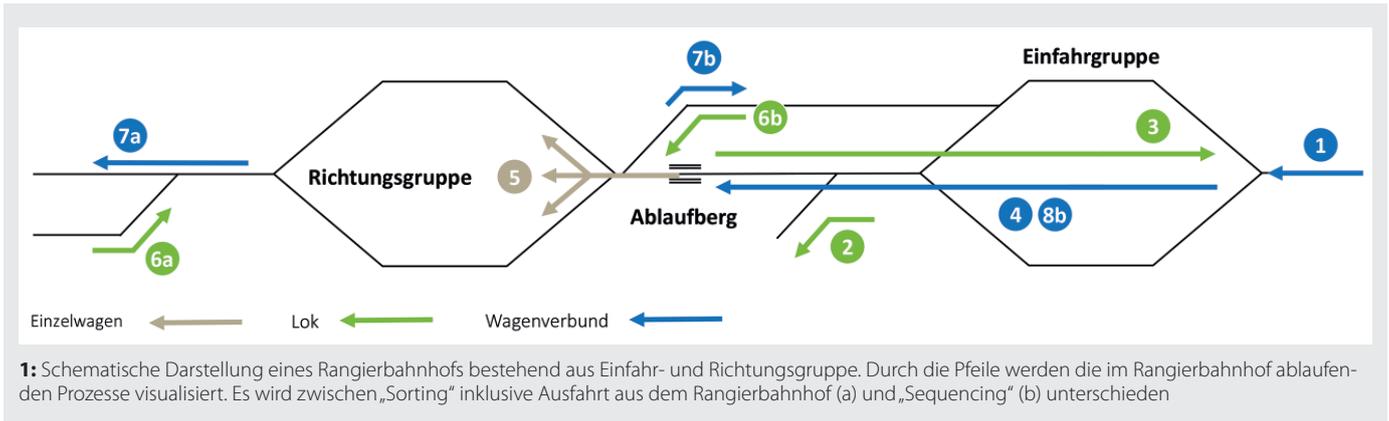
Dr.-Ing. Thorsten Büker

Geschäftsführer bei quattron management consulting GmbH / VIA Consulting & Development GmbH
th.bueker@via-con.de

Modellierung dieser eingegangen, bevor ein konkretes Anwendungsbeispiel samt Ergebnissen vorgestellt wird.

2. Methodik

Der Detailgrad der in das Modell einzugehenden Daten ist variabel gehalten. Zur Veranschaulichung werden eine beispielhafte Zugfahrt sowie alle betrieblich notwendigen vor- und nachgelagerten Bewegungen auf einem Rangierbahnhof dargestellt, um auf die benötigte Datenmenge zu schließen. In Bild 1 ist dies ebenfalls illustriert. Um Zugbewegungen an-



zulegen, muss zunächst die Infrastruktur definiert und eingegeben werden. Anschließend ist eine genauere Betrachtung der auf dem Rangierbahnhof stattfindenden Prozesse erforderlich.

2.1. Anlegen der Infrastruktur

Die Infrastruktur eines Rangierbahnhofs unterteilt sich, wie in Bild 1 zu sehen ist, in die Einfahr- und Richtungsgruppe, den Ablaufberg, die Verbindungen der einzelnen Elemente zueinander und die Ein- und Ausfahrt in den Rangierbahnhof. In manchen Fällen gliedert sich an die Richtungsgruppe noch eine Ausfahrgruppe an, in der bereits fertiggestellte Züge auf ihre Ausfahrt auf die freie Strecke warten können. Häufig übernimmt jedoch die Richtungsgruppe auch die Funktion der Ausfahrgruppe.

Da die Datenmenge der einzugebenden Infrastruktur möglichst kompakt gehalten werden soll, wird die Infrastruktur auf Server (Bediensysteme) projiziert, auf denen jeweils nur ein simultaner Bedienprozess möglich ist. Im Datenmodell müssen die Server außerdem miteinander verbunden werden, um Bewegungen zwischen ihnen zu ermöglichen. Weiterhin werden in den Gleisgruppen solche Gleise zu mehrkanaligen Servern zusammengefasst, die ähnliche Eigenschaften aufweisen, wie z.B. Gleislänge oder Elektrifizierung. Eine Darstellung der bereits in Server überführten Infrastruktur des in Kapitel 3 untersuchten Rangierbahnhofs ist in Bild 4 zu sehen.

2.2. Abstraktion der notwendigen Prozesse

Am häufigsten werden die Einzelwagen (oder Wagengruppen) einfahrender Züge auf die ausfahrenden Züge umverteilt, was auch als „Sorting“ bezeichnet wird. Eine weitere, nicht zu vernachlässigende

Tätigkeit stellt das „Sequencing“ dar, bei welchem die Wagen eines ausfahrenden Zuges zusätzlich in eine bestimmte Reihenfolge gebracht werden, um die Behandlung am Zielbahnhof zu erleichtern. Daraus ergeben sich die folgenden, auf der Infrastruktur stattfindenden Prozesse (Nummierung bezieht sich auf Bild 1):

- Zu Beginn fährt ein Güterzug in die Einfahrgruppe des Rangierbahnhofs (1). Hier muss zunächst etwas Verwaltungsarbeit durchgeführt werden, bevor die Streckenlok vom Zug entkoppelt und weggefahren werden kann (2). Anschließend werden die einzelnen Wagen zur Entkopplung am Ablaufberg vorbereitet, wie etwa durch das Entlüften der Bremsleitungen.
- Sobald die Vorbereitung der Wagen für den Abdruckprozess abgeschlossen ist, fährt eine Rangierlok vom Ablaufberg an das Ende des in der Einfahrgruppe stehenden Wagenparks heran (3) und drückt diesen bis zum Ablaufberg (4). Das Personal entkoppelt die Wagen, sodass sie als Einzelwagen oder kleine Wagengruppen auf die entsprechenden Gleise in der Richtungsgruppe abgedrückt werden können. Der Abdruckvorgang beginnt, sobald die Weichen für die nächste Wagengruppe richtig eingestellt sind: Die Rangierlok drückt, bis die Wagengruppe über den Ablaufberg abgerollt ist (5). Sind alle Wagen abgedrückt, kann die Rangierlok anschließend einen neuen Wagenpark aus der Einfahrgruppe zum Ablaufberg drücken.
- Sobald ein Wagenpark in der Richtungsgruppe vollständig ist, werden die Wagen miteinander gekuppelt. In dem Fall, dass diese Züge den Bahnhof auf die freie Strecke verlassen, muss eine Streckenlok an den Anfang des Zuges herangefahren und angekoppelt werden,

woraufhin eine Bremsprobe erfolgen muss (6a). Anschließend kann der Zug den Rangierbahnhof verlassen (7a). Findet jedoch auch das „Sequencing“ auf der Infrastruktur statt, so zieht eine Rangierlok (6b) den in der Richtungsgruppe stehenden Wagenpark um den Ablaufberg herum in die Einfahrgruppe (7b). Von dort kann er erneut über Ablaufberg abgedrückt werden (8b).

Darauf aufbauend lässt sich das Datenmodell für die (weiteren) Prozesse ableiten, welches sich grundsätzlich in drei Kategorien unterteilen lässt: Zugfahrten von der freien Strecke oder auf die freie Strecke, vor- und nachgelagerte Lok- bzw. Zugbewegungen sowie der Abdruckprozess eines Zuges.

2.3. Aufbereitung der Eingangsdaten und Datenmodell

Die für das Rechenmodell benötigte Datenstruktur ist so gewählt, dass üblicherweise zur Verfügung stehende Daten solcher Anlagen verwendet werden können. Beispielfähig sind hier Tagesganglinien einfahrender Züge oder bekannte Zeiten für einzelne Arbeitsprozesse zu erwähnen. Ein Vorteil der gewählten Datenhaltung ist, dass die Zug-Zug-Beziehungen der Einzelwagen nicht erforderlich sind, was die benötigte Datenmenge erheblich reduziert. (Zugleich erfordert der gewählte Ansatz nicht zwangsläufig Kenntnisse aus den Systemen der beteiligten Eisenbahnverkehrsunternehmen.) Diese kompakte Datenhaltung ermöglicht es schließlich, mit wenig Aufwand einzelne Szenarien zu definieren und zu variieren. Abgebildet werden Abfolgen mehrerer Betriebstage. Die einzelnen Betriebstage laufen jedoch nie exakt nach dem gleichen Schema ab, sodass sich insbesondere der Monte-Carlo-Ansatz zur Kapazitäts-

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für quattron management consulting GmbH / VIA Consulting & Development GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

analyse eignet, da hier ein gewisser Zufall in die Eingangsdaten eingestreut wird. Bei der Dateneingabe wird dies berücksichtigt, indem für betroffene Größen nicht nur ein Durchschnittswert, sondern auch eine Streuung um diesen herum angegeben wird. Anschließend werden verschiedene Varianten desselben Szenarios berechnet und zusammengeführt, sodass sich so eine Gesamtaussage treffen lässt. Für die drei Prozesskategorien sind im Folgenden die Daten aufgeführt, die sich aus den Betriebsdaten ermitteln lassen und zur Definition von Szenarien verwendet werden können:

- Bei **ein- und ausfahrenden Zügen** lässt sich die Anzahl der Wagen einstellen, bei der ein Zug als vollständig gilt. Ebenfalls können Prozesszeiten, wie z.B. für das (Ent-)Kuppeln der Wagen oder Zeiten für Verwaltungsarbeiten eingegeben werden. Weiterhin kann bei einfahrenden Zügen eine Ankunftsstunde angegeben werden, in welcher die exakte Ankunftszeit zufällig bestimmt wird. Auch das Routing der Züge über die Server kann bestimmt werden.
- Für die **vor- und nachgelagerten Bewegungen** muss ebenfalls ein Routing eingegeben werden. Weiterhin können auch hier Prozesszeiten definiert werden, die zur Vorbereitung der einzelnen Bewegung benötigt werden. Zudem können an einzelnen Bewegungen weitere vor- und nachgelagerte Prozesse festgelegt werden. Auch eine Definition der Anzahl zur Verfügung stehender Ressourcen (z.B. Rangierloks) ist möglich.
- Relevante Informationen, die den **Abdruckprozess** beeinflussen, sind hauptsächlich die Anzahl der Wagen, welche eine Wagengruppe bilden und über den Ablaufberg rollen, sowie die Zeit, welche eine Wagengruppe benötigt, um abgefertigt zu werden. Neben der Abrollzeit ist hier auch die Zeit zum Trennen der Wagengruppen am Berg zu berücksichtigen. Ebenfalls einstellbar ist, sofern in der Infrastruktureingabe berücksichtigt, ob die Wagengruppen auf alle Gleise der Richtungsgruppe abgedrückt werden können oder nur in einen bestimmten Teil.

Der bislang umgesetzte Algorithmus ist nicht in der Lage, unterschiedliche bzw. optimal gewählte Zugroutings für die einzelnen Varianten zu erzeugen. Diese sind in allen Szenarien gleich. Lediglich beim Abdruckprozess können einzelne Wagengruppen zufällig auf die in der Richtungs-

gruppe stehenden Züge verteilt werden, sofern dieser als mehrgleisiger Server definiert wird. Wichtig ist, eine Einschwingphase vor dem eigentlichen Szenario zu definieren, um die Ergebnisse nicht zu verfälschen. Dies kann damit begründet werden, dass sich zu Beginn der Berechnung noch keine Züge auf der Anlage befinden und diese entsprechend als zu leer angenommen wird. Nach etwa 24 simulierten Stunden kann der Einschwingvorgang als abgeschlossen angesehen werden.

2.4. Kenngrößen zur Kapazitäts- und Leistungsfähigkeitsbestimmung

Ist die Infrastruktur in Server überführt und sind alle Parameter für Zugfahrten und Abdruckprozess eingegeben, können die Simulationsläufe gestartet werden. In der anschließenden Auswertung können elementare Kenngrößen bestimmt werden:

- Anzahl der Wagen pro Tag, die den Rangierbahnhof verlassen
- Anzahl der Wagen pro Tag, die über den Ablaufberg gedrückt werden

Darüber hinaus lassen sich folgende Parameter ermitteln:

- Mittlere (Folge-)Verspätung an Servern
- Anzahl der Belegungen und Belegungszeiten an Servern
- Durchschnittliche Zeit, die Wagen im System sind
- Anzahl der Wagen im System zu einem bestimmten Zeitpunkt
- Tagesganglinien für einfahrende, ausfahrende und abgedrückte Züge bzw. Wagen

Unter (Folge-)Verspätung wird hier die außerplanmäßige Wartezeit eines Zuges am entsprechenden Server verstanden, die er nicht vorrücken kann, weil der nächste Server seines Laufweges durch einen anderen Zug blockiert ist.

3. Anwendungsfall

Das entwickelte Rechenmodell wurde erstmalig zur Kapazitätsbestimmung eines großen Rangierbahnhofs in Westeuropa

verwendet. Im Folgenden wird zunächst darauf eingegangen, wie die Funktionsfähigkeit des Rechenmodells überprüft wurde. Anschließend werden beispielhafte Szenarien vorgestellt und anonymisierte Ergebnisse präsentiert.

3.1. Kalibration und Validierung

Zur Sicherstellung, dass die berechneten Ergebnisse einen in der Realität vorkommenden Prozess abbilden, wird zunächst versucht, den Status Quo zu reproduzieren. Dafür wird die Tagesganglinie sowie die Wagenanzahl einfahrender Züge für einen repräsentativen Wochentag aus den Betriebsdaten bestimmt. Ebenfalls werden die im Datenmodell benötigten Parameter, etwa mittlere Wagenzahl je Zug, das Routing der Lokbewegungen und verschiedene Prozesszeiten, aus Betriebsdaten extrahiert oder, sofern nicht anders möglich, approximiert. Nachdem die relevanten Kennzahlen, etwa die Anzahl abgedrückter sowie den Rangierbahnhof verlassender Wagen, berechnet wurden, werden diese mit den Originaldaten verglichen. Nur, wenn die berechneten Daten nicht zu stark von den Originaldaten abweichen, sind die eingegebenen Parameter valide genug, um weitere Szenarienberechnungen durchzuführen. Dieser Vergleich ist in Tabelle 1 aufgeführt. Bei der hier vorliegenden Größenordnung der relativen Abweichungen ist diese Bedingung erfüllt.

3.2. Kapazitätsanalyse

Die Kapazität der Anlage ist unter anderem davon abhängig, welcher Mix von Tätigkeiten auf ihr ausgeführt wird. Als Bewertungsgrundlage wird in diesem Fall die Anzahl der im Sorting-Prozess abgedrückten Wagen herangezogen. Um dies zu verdeutlichen, werden drei Szenarien untersucht, nämlich solche, bei denen:

- nur Sorting-Prozesse auf der Infrastruktur durchgeführt werden
- ein Mischbetrieb aus Sorting und Sequencing (erneutes Abdrücken) auf der Infrastruktur vorliegt, mit einem Anteil der Sequencing-Prozesse von 40 % und 60 % an allen Abdruckprozessen.

Tabelle 1: Abweichung von Originalwerten in der Berechnung

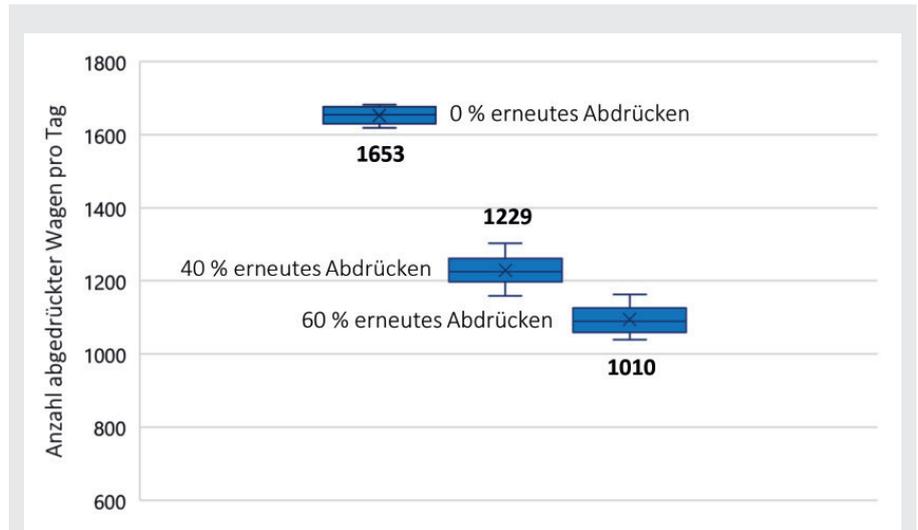
	Originalwerte	Berechnete Werte	Abweichung
Abgedrückt	975 Wagen/Tag	1030 Wagen/Tag	+ 5,6 %
Anlage verlassen	679 Wagen/Tag	667 Wagen/Tag	- 1,8 %

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für quattron management consulting GmbH / VIA Consulting & Development GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

Es zeigt sich, wie in Bild 2 auch zu sehen ist, dass mit zunehmender Anzahl an Sequencing-Bewegungen die Anzahl der als Sorting-Prozess abgedrückten Wagen abnimmt. Dies resultiert einerseits daraus, dass aufgrund des Mischbetriebes ein Teil der Sorting-Prozesse durch Sequencing-Prozesse ersetzt wird. Andererseits wird die Infrastruktur um den Ablaufberg für eine längere Zeit blockiert, da die Züge zunächst von der Richtungsgruppe zurück in die Einfahrgruppe gefahren werden müssen. Somit kann der Ablaufberg für diesen Zeitraum nicht genutzt werden (vgl. Bild 1, Prozesse 6b bis 8b). Damit einher geht auch eine geringere Anzahl an Wagen, die den Rangierbahnhof verlassen werden, da die Wagen des Sequencing-Prozesses mehrfach über den Ablaufberg abgedrückt werden.

Unabhängig davon gibt es aber auch noch weitere Prozesse beziehungsweise Restriktionen, die sich auf die Kapazität der Anlage auswirken. Oftmals gibt es mehr Fahrten als betrieblich zwingend notwendig. Untersucht wird, wie sich solche Fahrten auf die Kapazität auswirken, die nicht an den in Bild 1 gezeigten Prozessen beteiligt sind, aber trotzdem Infrastrukturelemente belegen („Rauschen“). Dieses Rauschen setzt sich einerseits aus Zugbewegungen vor der Einfahrgruppe (vgl. Bereich 2 in Bild 4) sowie aus Zugbewegungen zwischen Einfahrgruppe und Ablaufberg (vgl. Bereich 1 in Bild 4) zusammen. Hier zeigt sich, dass dieses nur einen geringen Einfluss auf die Kapazität hat, sofern es das heutige Niveau nicht übersteigt. Diese Ergebnisse sind in Bild 3 visualisiert. Zurückgeführt werden kann dies darauf, dass die Belegungszeiten der einzelnen Infrastrukturelemente verhältnismäßig kurz sind, da es sich in der Regel lediglich um Durchfahrten handelt. Einen Halt legen die Fahrzeuge dabei nicht ein und blockieren die Zufahrten zum Ablaufberg somit auch nicht für einen signifikanten Zeitraum.

Im Anwendungsbeispiel existieren zwei Zufahrten zum Ablaufberg, vgl. Bereich 1 in Bild 4. Als besonders relevant hat sich die Sperrung einer dieser Zufahrten von der Einfahrgruppe zum Ablaufberg herausgestellt, mit der eine Reduktion der abgedrückten Wagen um bis zu 50% einhergeht. Erklärt werden kann dies damit, dass so nicht mehr zwei Züge unmittelbar vor dem Ablaufberg stehen und auf ihren Abdruckprozess warten können. Somit kann nach der Abfertigung des ersten Zuges nicht direkt der zweite Abdruckprozess beginnen, da kein Zug vor dem Ablaufberg

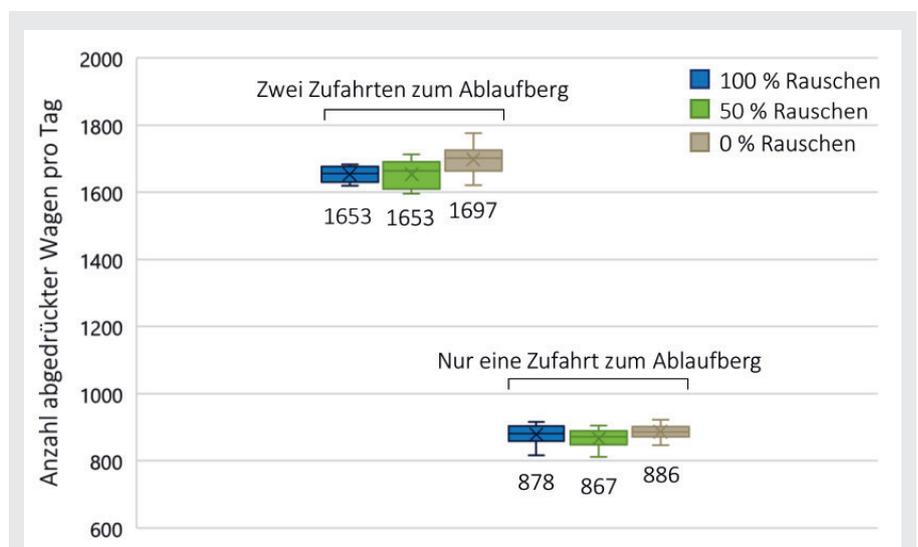


2: Anzahl der am Ablaufberg als Sorting-Prozess abgedrückten Wagen (Durchschnitt über alle Simulationsläufe)

bereitsteht. Zunächst muss die Rangierlok vom Ablaufberg weggefahren werden und den Zugang zum Ablaufberg freimachen, sodass dann erst ein weiterer Zug aus der Einfahrgruppe nachrücken kann. Wird nun noch angenommen, dass diese Rangierlok den nächsten Zug zum neuen Ablaufberg drückt, so bleibt der Ablaufberg für sehr lange Zeit ungenutzt, was mit einer deutlichen Reduktion der Kapazität einhergeht. Ähnliche Ergebnisse sind auch zu erwarten, wenn nur eine Rangierlok in der Einfahrgruppe zur Verfügung steht, da in solchen Fällen die Rangierlok nach dem Abdruck-

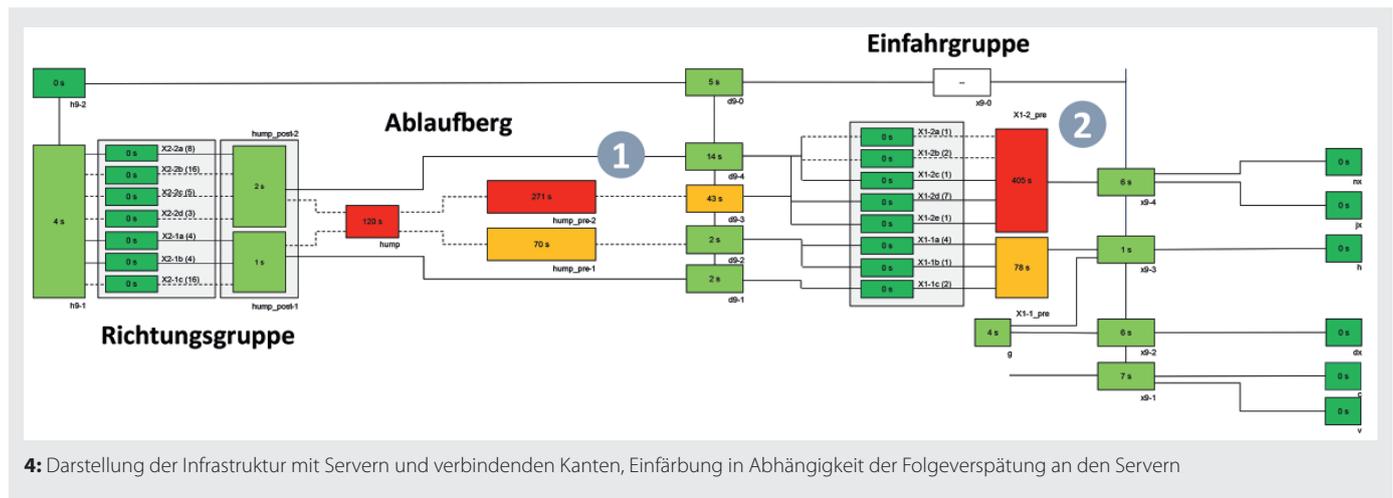
prozess zurück in die Einfahrgruppe muss, um eine neue Wagengruppe zum Ablaufberg zu drücken. In der Zwischenzeit steht allerdings keine weitere Lok zur Verfügung, die dann schon eine andere Wagengruppe abdrücken kann.

Zur Kapazitätserhöhung ist es ebenfalls nützlich, solche Server zu detektieren, an denen hohe mittlere Verspätungen auftreten. Diese Erkenntnisse können dazu genutzt werden, Prozesse so zu optimieren, dass Verspätungen möglichst reduziert werden. So können die Server schneller wieder von anderen Zügen belegt werden.



3: Der Einfluss des Rauschens auf die am Ablaufberg abgedrückten Wagen pro Tag (angegeben sind die Durchschnittswerte über alle Simulationsläufe). Es wird zwischen den Fällen differenziert, dass ein oder zwei Zuläufe zum Ablaufberg befahrbar sind

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für quattron management consulting GmbH / VIA Consulting & Development GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH



4: Darstellung der Infrastruktur mit Servern und verbindenden Kanten, Einfärbung in Abhängigkeit der Folgeverspätung an den Servern

Wie Bild 4 zeigt, sind insbesondere die Server vor der Einfahrgruppe (2) sowie vor und am Ablaufberg (1) anfällig für Verspätungen. Während die entstehende Verspätung vor der Einfahrgruppe nur einen geringen Einfluss auf die Anzahl der abgedruckten Wagen hat, da in der Regel ausreichend Züge in der Einfahrgruppe zum Abdrücken bereitstehen und die Verspätung zudem aufgrund kürzerer Belegungszeiten geringer ist, birgt die Reduktion der Verspätung vor dem Ablaufberg Potential für Kapazitätssteigerungen. Eine Optimierung der Prozesszeiten am Ablaufberg führt – wenig überraschend – dazu, dass die Züge hier weniger lange auf ihre Abfertigung warten müssen und entsprechend mehr Züge in einem bestimmten Zeitraum abgedrückt werden können.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchungen mittels des hier vorgestellten Rechenmodells zeigen, dass eine optimale Nutzung der Infrastruktur am Ablaufberg zwingend notwendig ist, um die Kapazität der Anlage voll auszunutzen. Es muss gewährleistet werden, dass die Infrastruktur mehrere Zufahrten zum Ablaufberg aufweist. Weiterhin müssen diese auch parallel benutzbar sein, was eine ausreichende Anzahl an Rangierloks in der Anlage voraussetzt. Eine Verkürzung der Wartezeiten vor dem Ablaufberg durch eine Reduktion der Prozesszeiten birgt ebenfalls Potential für Kapazitätserhöhungen. Durch eine gleichzeitige Ausführung von Sorting- und Sequencing-Prozessen geht Kapazität verloren. Sofern ein Rangierbahnhof über mehrere Ablaufberge verfügt, ist eine

räumliche Trennung der durchzuführen- den Prozesse sinnvoll.

Die berechneten Ergebnisse fußen dabei hauptsächlich auf realen Betriebsdaten. Der Charakter der Prozesszeiten am Ablaufberg und der Zusammensetzung der Züge wird dabei über Verteilungsfunktionen ausgedrückt, die leicht durch das Anpassen verschiedener Kennwerte abänderbar sind. Auch die Tagesganglinien für einfahrende Züge können leicht aus den Betriebsdaten gewonnen und je nach Szenario auch manipuliert werden.

Insbesondere die Zerlegung der Infrastruktur in die in das Rechenmodell einzugebenden Server stellt jedoch eine Herausforderung dar. Da die Performance des Rechenmodells sowie die Aussagegüte stark von der gewählten Topologie abhängt, ist eine genaue Kenntnis über die auf der Infrastruktur stattfindenden Prozesse erforderlich. So können einzelne Infrastrukturelemente, auch im Hinblick auf den Betrieb, sinnvoll zu einem Server zusammengefasst werden.

Weiterhin muss bei der Interpretation der Ergebnisse beachtet werden, dass die Routings der Zugfahrten über die Server fix vorgegeben sind. Entsprechend kann das Verfahren nicht dynamisch anders routen, wenn ein Server auf ihrem Laufweg blockiert wird, was zu Verspätungen und ggf. zu einer Unterschätzung der Kapazität führt. Untersuchungen, wie stark die Variation der Routings einen Einfluss auf die Kapazität hat, könnten hier zu weiterführenden Erkenntnissen führen.

Über den dargestellten Anwendungsfall hinaus eignet sich das Rechenmodell auch für die Anwendung auf anderen Industrie-/Hafenbahnen, um eine Abschätzung der maximalen Kapazität vorzu-

nehmen oder Engpässe zu identifizieren, sodass eine Optimierung von Betriebsverfahren oder Infrastruktur folgen kann. Nachgelagert ist auch eine detaillierte Untersuchung mit anderen eisenbahnbetriebswissenschaftlichen Methoden möglich. Bewährt sich die Methodik, wäre auch eine Integration in entsprechende Softwaretools denkbar.

Literatur

- [1] Potthoff, G.: Verkehrsströmungslehre Bd. 1 (Zugfolge auf Strecken und Bahnhöfen). Transpress Berlin (1970).
- [2] DB-Richtlinie 405: Fahrwegkapazität
- [3] Büker, Th., Stahl, S.: Queuing-theory based capacity assessment for industrial site infrastructures. In: Proc. of the 7th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis, Lille, 4.-7.4.2017.
- [4] Nguyen P., Ruf, M., König, R., Spielmann M., Günter A.: Yamato – neuartiger Ansatz zur Steuerung von Zugbildungsanlagen. In: Der Eisenbahningenieur 8/20.
- [5] <https://www.simcon.sk/de/tools/villon>, zuletzt abgerufen am 05.02.2021.

Summary

Process oriented capacity studies for marshalling yards and industry rails

With increasing rail freight transport volumes, marshalling yards should not be neglected in the capacity analysis. A process-oriented approach based on real operating data makes it possible after abstracting the infrastructure and entering relevant parameter for train movements and processes, to carry out a Monte-Carlo simulation finding statements about performance and throughput, so that an optimization of operating procedures and infrastructure can follow.

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für quattron management consulting GmbH / VIA Consulting & Development GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH