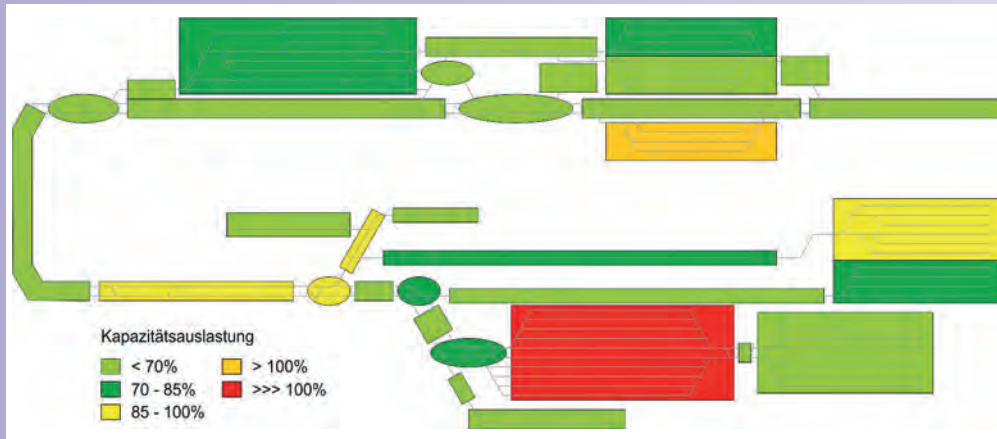


ANDREAS GILLE



Ein neuer Ansatz zur Kapazitätsbestimmung von Bahnsystemen

WISSENSCHAFTLICHE ARBEITEN
des Instituts für Verkehrswesen, Eisenbahnbau und -betrieb
Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig

Nr. 75

**Ein neuer Ansatz zur Kapazitätsbestimmung
von Bahnsystemen**

Andreas Gille

2013

Von der Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig
zur Erlangung des Grades
eines Doktoringenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

| | |
|------------------|--|
| Eingereicht am | 2. Juli 2013 |
| Disputation am | 1. November 2013 |
| Berichterstatter | Univ.-Prof. Dr.-Ing. Th. Siefer (TU Braunschweig) Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. J. Siegmann (TU Berlin) |

Vorwort

Die vorliegende Arbeit ist im Rahmen mehrjähriger Forschungstätigkeit am Institut für Verkehrswesen, Eisenbahnbau und -betrieb (IVE) der Technischen Universität Carolo Wilhelmina zu Braunschweig sowie zuvor an der Leibniz Universität Hannover entstanden. In der Arbeit werden die aktuellen Forschungstätigkeiten zum Thema Kapazitätsbewertung bei Eisenbahnen unter Berücksichtigung des derzeitigen Standes der Forschung aufgegriffen.

Im Eisenbahnverkehr wird verstärkt Kapazität benötigt, moderne verkehrsträgerübergreifende Transportketten sowie effektive Prozessabläufe ermöglichen Kapazitätsausweitungen. Besonders in Zeiten von weltweit steigendem Konsum und Transportbedarf sind Fragen der Leistungsfähigkeit der Verkehrswege und Umschlagsysteme heute und in Zukunft zu beantworten.

Die Kapazität der Eisenbahninfrastruktur ist ein wesentlicher Aspekt der strategischen Betriebsplanung und täglichen Betriebsdurchführung. Ohne das Vorhandensein ausreichender Kapazität ist ein effektiver Eisenbahnverkehr nicht möglich. Die Arbeit beschäftigt sich daher mit der Frage, wie Kapazität unter Berücksichtigung realer Betriebseinflüsse bereits planerisch bewertet werden kann und ob die ermittelte Kapazitätsauslastung noch zusätzliche marktgerechte Trassen ermöglicht. Diese Problematik ist komplex und wird daher mithilfe des Einsatzes von EDV, z. B. der Spezialsoftware RailSys, untersucht. Dazu wird eine exemplarische Untersuchungsumgebung in Form eines detaillierten Teilnetzes des Eisenbahngüterverkehrs geschaffen und mit einem konstruierten Fahrplan belastet. Die Kapazitätsbewertung erfolgt für einen fiktiven theoretischen Zustand, für einen planerischen Zustand unter Berücksichtigung bestimmter Pufferzeiten und für einen betrieblichen Zustand, der durch synchrone Betriebssimulationen nachempfunden wird. Dabei werden die Betrachtungen unter Berücksichtigung der produktionstechnischen und organisatorischen Besonderheiten von Teilnetzen des Güterverkehrs durchgeführt, wobei ein Schwerpunkt auf dem Kombinierten Verkehr liegt.

Ergänzend zu den wissenschaftlich-theoretischen Forschungen wird im Rahmen der Arbeit das Tool Net-RS zur Bewertung der Kapazitätsauslastungen von Netzelementen innerhalb von Eisenbahnteilnetzen entwickelt. Es wird auf Basis einer mikroskopischen Untersuchung kalibriert, um daraufhin für Kapazitätsanalysen und Variantenvergleiche von strategischen Betriebsszenarien eingesetzt werden zu können und geeignete Planungsvarianten zu identifizieren.

Die wesentlichen Erkenntnisse der Arbeit werden in einer tabellarischen Übersicht zusammengefasst, aus der die Bedeutung bestimmter Kapazitätsauslastungen bei Differenzierung der Bewertungsbasis von der theoretischen bis zur praktischen Kapazität und des Netzelementtyps, z. B. Gleisgruppe oder Streckenabschnitt, hervorgeht.

Besonders hervorzuheben ist die gelungene Kombination aus hochgenauer Abbildung der infrastrukturellen und betrieblichen Abhängigkeiten mit der praktischen Handhabbarkeit des entwickelten Ansatzes. Die Arbeit leistet somit einen wichtigen Beitrag für Kapazitätsuntersuchungen von Bahnsystemen.

Kurzfassung

Andreas Gille: „Ein neuer Ansatz zur Kapazitätsbestimmung von Bahnsystemen“

Stichwörter: Kapazität, Qualität, Bewertung, Netzzusammenhang, Net-RS

Aufgrund des sich verkehrsträgerübergreifend stetig erhöhenden Transportbedarfs, steigt auch der Qualitätsanspruch bei den Eisenbahnen an die Verarbeitungs- und Organisationsprozesse sowie z. B. im Güterverkehr an den reibungslosen An- und Abtransport der Waren. Es sind daher effektive Methoden und leistungsstarke Planungswerkzeuge zur Bewertung und Optimierung der Anlagenleistungsfähigkeit bzw. Kapazität unverzichtbar.

Die Prozesse Kapazitätsbestimmung und -bewertung von Bahnanlagen sowie die Qualitätsbewertung des Betriebs werden jedoch häufig entkoppelt oder jeweils zu wenig differenziert betrachtet. Das Ziel der Arbeit ist daher die Entwicklung eines neuen Ansatzes zur differenzierten Kapazitätsbestimmung, wobei damit die Unterscheidung verschiedener Bewertungsebenen von der theoretischen bis zur praktischen Kapazität und die Unterscheidung spezifischer Netzelemente in Abhängigkeit der Art ihrer betrieblichen und verkehrlichen Nutzung gemeint sind. Die Arbeit konzentriert sich vornehmlich auf räumlich begrenzte, jedoch aufkommensstarke Teilnetze des Eisenbahngüterverkehrs. Bei Industrie- und Werkbahnen sowie in Rangier- und Umschlagbahnhöfen überlagern sich viele voneinander abhängige Einzelverkehre. Durch die gegenseitigen Beeinflussungen der durchzuführenden Fahrten wird die Kapazitätsbestimmung und -bewertung komplex. Um belastbare Kapazitätsaussagen zu erhalten und mögliche Restkapazitäten einer Infrastruktur verlässlich einschätzen zu können, ist es notwendig, die maximal möglichen Auslastungsgrade mit einer Betriebssimulation zu überprüfen. Dabei wird das betriebliche Leistungsverhalten im betrachteten Untersuchungsraum unter dem Einfluss von Störungen und Verspätungsübertragungen analysiert und die Erkenntnisse in die Kapazitätsbewertung eingespeist.

Die Ergebnisse der Arbeit ermöglichen durch die Überprüfung des Betriebs unter Realbedingungen eine abgesicherte Kapazitätsaussage, da sich die tatsächlich nutzbaren Zeitlücken innerhalb eines Netzes, Teilnetzes oder Streckenabschnittes erst unter Berücksichtigung von betriebsnotwendigen Dispositionshandlungen ergeben. Die Methodik bietet eine verlässliche Basis für die Beurteilung noch verfügbarer Restkapazitäten unter Marktanforderungen, wie z. B. attraktiven Transportzeiten, da Trassen mit vielen langen Halten oder Umwegen vom Markt abgelehnt werden würden. Auf diese Weise können komplexe Netze mit vielschichtigen Abhängigkeiten der Fahrten untereinander und charakteristischen infrastrukturellen sowie betrieblichen Besonderheiten detailliert untersucht werden.

Die Methodik beinhaltet die Überführung der Ergebnisse der Leistungsuntersuchung in das im Rahmen der Arbeit entwickelte Tool Net-RS zur Bewertung der Kapazitätsauslastung von Netzelementen. Die hierbei verwendeten Kapazitätskennwerte basieren auf dem simulierten Betriebsablauf mithilfe des Planungssystems RailSys. Dadurch wird eine netzweite Kapazitätsbewertung mit schnellen Variantenvergleichen in Abhängigkeit sich ändernder Betriebsbelastungen ermöglicht.

Die Arbeit stellt einen neuen und praktisch handhabbaren Ansatz für das Verfahren einer differenzierten Kapazitätsbewertung für aufkommensstarke Teilnetze des Eisenbahngüterverkehrs dar, das zudem ein hohes Standardisierungs- und Übertragungspotential besitzt.

Abstract

Andreas Gille: „A new approach for capacity determination in railway systems“

Keywords: capacity, quality, determination, network infrastructure, Net-RS

Due to the continuously rising demand in intermodal freight traffic, the quality requirements of railway operation and organisation processes, such as e. g. the unrestricted transport in rail freight shipment, are rising as well. Hence, effective methods and high-performance planning tools for the evaluation and optimisation of capacity in railway systems are indispensable.

However, the two processes capacity determination and evaluation of railway systems as well as the quality evaluation of the railway operation are often treated decoupled or not sophisticated enough. For that reason, the aim of this work is to develop a new approach for differentiated capacity determination. This approach deals with unlike examination levels of capacity determination from a theoretical capacity up to a practical capacity and the differentiation of specific network elements regarding the way of their operational and functional usage.

The work is mainly focussed on spatial limited, but highly-frequented partial networks of freight railways. Within industrial and factory railways as well as within shunting stations and transition terminals many dependent single runs of trains and locomotives superimpose each other. Because of the mutual interactions of the train runs the capacity determination and evaluation become complex. For reaching resilient capacity results and reliable findings for the possible remaining capacity within a respective network, an additional investigation of the maximum possible degree of capacity utilisation using an operational simulation is required. Within such a simulation the operational performance in the respective research area under consideration of the influence of disturbances and delay propagation is analysed and the findings are applied to the capacity evaluation.

The methodology provides verified and reliable capacity results, due to the investigation of the railway operation under real operational conditions. This is useful because the practically useable time gaps for train movements within a respective network, partial network or line section cannot be determined without the consideration of dispositions.

The approach offers a reliable basis for the evaluation of useable remaining capacities respecting market requirements as e. g. attractive transport times. Train paths with many and long stops due to timetable requirements or detours would be refused from the freight market. Complex networks with complex dependencies between the train runs and specific infrastructural or operational characteristics can be analysed very detailed.

The methodology contains the transfer of the results of the performance analysis into the tool Net-RS, which was developed during this work for the evaluation of the capacity utilisation of network elements. The used capacity parameters rest upon the operational simulation using the planning program RailSys. Hence, a network-wide capacity evaluation with a quick comparison of different scenarios depending on changing train loads can be conducted.

The work represents a new and practically manageable approach for a differentiated capacity determination and evaluation within highly-frequented partial networks of freight railways that additionally offers a remarkable standardisation and transfer potential.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|------------|
| Abbildungsverzeichnis | III |
| Tabellenverzeichnis | VI |
| Abkürzungsverzeichnis | VI |
| Begriffsdefinitionen | IX |
| | |
| 1 Einleitung | 1 |
| 2 Motivation und allgemeine technische Grundlagen | 5 |
| 2.1 Fachliche Einordnung der Arbeit | 5 |
| 2.2 Hinweise zum Güterverkehrswachstum | 7 |
| 3 Stand der Wissenschaft | 15 |
| 3.1 Grundlagen der Eisenbahnbetriebswissenschaft und Wirkungsgefüge | 15 |
| 3.2 Modelle und Abstraktionsgrade | 18 |
| 3.3 Grundlegende Methoden zur Leistungsuntersuchung | 22 |
| 3.4 Bewertung des Leistungsverhaltens | 28 |
| 3.4.1 Kapazität und spezifische Kenngrößen | 29 |
| 3.4.2 Betriebsqualität und spezifische Kenngrößen | 32 |
| 3.5 Praktische Verfahren zur Leistungsuntersuchung..... | 36 |
| 3.5.1 Verketteter Belegungsgrad nach Pacht | 36 |
| 3.5.2 UIC Code 406..... | 38 |
| 3.5.3 Verfahren RailSys | 41 |
| 4 Neuer Ansatz zur Kapazitätsbestimmung | 43 |
| 4.1 Anwendungsbereich des Verfahrens | 43 |
| 4.1.1 Industrie- und Werkbahnen | 44 |
| 4.1.2 Gleisanlagen für Zugbildung und Güterumschlag | 45 |
| 4.1.3 Beispiel Hafenbahnen | 48 |
| 4.2 Betriebliche Besonderheiten für die Kapazitätsbetrachtung..... | 52 |
| 4.2.1 Innere Abhängigkeiten | 52 |
| 4.2.2 Äußere Abhängigkeiten | 68 |
| 4.3 Entwicklung des Verfahrens | 70 |
| 4.3.1 Verfahrensschritte | 74 |
| 4.3.2 Programm Net-RS | 98 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5 | Anwendungsbeispiel | 103 |
| 5.1 | Aufbau künstliches Beispielnetz | 103 |
| 5.1.1 | Infrastruktur | 104 |
| 5.1.2 | Fahrzeuge und Fahrplankonstruktion..... | 105 |
| 5.1.3 | Simulationseinstellungen..... | 109 |
| 5.2 | Verfahrensanwendung zur Kapazitätsbestimmung des Beispielnetzes..... | 110 |
| 5.2.1 | Anwendung der Verfahrensschritte | 110 |
| 5.2.2 | Anwendung Net-RS..... | 124 |
| 6 | Wesentliche Ergebnisse des Verfahrens | 127 |
| 6.1 | Wesentliche Erkenntnisse zur Kapazität | 127 |
| 6.2 | Übertragbarkeit und methodische Vorteile des Verfahrens..... | 129 |
| 7 | Zusammenfassung..... | 131 |
| | Literatur- und Quellenverzeichnis | 133 |
| | Anhang | 137 |

1 Einleitung

Der europäische Eisenbahnverkehr befindet sich im Wachstum. Verkehrsträgerübergreifend steigen die Transportleistungen seit Jahren an. Im Güterverkehr wird diese Entwicklung von den wachsenden Märkten im asiatischen Raum und dem anhaltenden und steigenden Konsumbedarf der Menschen z. B. in Europa hervorgerufen. Zudem begünstigt die zunehmende Globalisierung der Weltwirtschaft und die Internationalisierung der Produktion das Wachstum. Auch die Verlagerung von Produktionsstandorten ins Ausland und das sogenannte „Outsourcing“ ganzer Unternehmenszweige führen zu einem erheblichen Transportbedarf von Gütern.

Die Eisenbahn ist bei dieser Entwicklung, aufgrund ihrer systemimmanenten Vorteile, wie z. B. die Eignung zum Transport großer Lasten und Mengen über mittlere bis weite Entfernungen mit vergleichsweise sehr guter Umweltbilanz, von besonderer Bedeutung. Die Verkehrsleistung im deutschen Eisenbahngüterverkehr stieg von 1999 bis 2008 um 51 % auf 115,7 Mrd. Tonnenkilometer (tkm). In Europa wurde im gleichen Verkehrssegment und Zeitraum von den Mitgliedstaaten der EU-15 ein Wachstum von durchschnittlich 21 % auf 292,4 Mrd. tkm erzielt [ViZ]. Trotz des Rückgangs des Wachstums seit dem Jahr 2009 aufgrund der weltweiten Finanz- und Wirtschaftskrise gehen Experten davon aus, dass die progressive Entwicklung nur kurzfristig gebremst wurde, dann aber die in den vorherigen Jahren gewohnten Steigerungsraten wieder erreicht. Für Deutschland sagt eine Untersuchung des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) eine Verkehrsleistung von 151,9 Mrd. tkm im Bereich des Eisenbahngüterverkehrs im Jahr 2025 voraus [ViZ], was einem Wachstum von etwa 31 % ab 2008 entsprechen würde.

Die Entwicklung der letzten Jahre zeigt, dass entlang der gesamten Transportkette wirkungsvolle Maßnahmen für die Verkehrsabwicklung erforderlich sind. Aufgrund des sich verkehrsträgerübergreifend stetig erhöhenden Transportbedarfs, steigt auch bei den Eisenbahnen der Qualitätsanspruch an die Verarbeitungs- und Organisationsprozesse sowie z. B. im Güterverkehr an den reibungslosen An- und Abtransport der Waren. Es sind daher effektive Methoden und leistungsstarke Planungswerkzeuge zur Bewertung und Optimierung der Anlageneistungsfähigkeit bzw. Kapazität unverzichtbar.

Problemstellung

Die erwarteten Steigerungsraten im Eisenbahngüterverkehr stellen die am Transport beteiligten Institutionen, also u. a. die Betreiber von Gleisnetzen und Umschlaganlagen, wie z. B. Containerterminals (CT), sowie Logistik- und Eisenbahnverkehrsunternehmen vor große Herausforderungen. Bereits heute werden allein im Wechselverkehr mit den deutschen Seehäfen mehr als 20 % des Schienengüterverkehrs abgewickelt. Um die darüber hinaus prognostizierten Mengen bewältigen zu können, sind Weiterentwicklungen der Bestandssysteme erforderlich. Interne und externe Betriebsabläufe müssen an die wachsenden Transportaufgaben angepasst und hinsichtlich der Anforderungen an Schnelligkeit und Effizienz verbessert werden.

Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit ist zunächst zu prüfen, ob bestehende Anlagen betrieblich verbessert werden können, um mit denselben Betriebsmitteln, z. B. Fahrzeugen und Umschlaggeräten, mehr Leistung erbringen zu können. Die Optimierung von Umlauf- und

Arbeitsprozessen der Betriebsmittel kann eine effektive Maßnahme dazu sein die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems zu erhöhen. Ebenso kann innerhalb der Gleisgruppen und Ladestellen eines Güterbahnnetzes durch das Einplanen fester Zeitfenster für die Standzeiten der Züge potentiell eine strukturiertere Abwicklung der Verkehre erreicht werden.

Lassen sich mit betrieblichen Maßnahmen nicht die erforderlichen Leistungsziele erreichen, sind Erweiterungen der bestehenden Anlagen durch Ausbau erforderlich. So sind im Bereich von Containerterminals ggf. größere Lagerflächen oder weitere Krananlagen und Transportfahrzeuge zum Bewegen der Container erforderlich oder es werden bspw. in Güterbahnhöfen oder auf Streckenabschnitten des Netzes zusätzliche Gleise, Weichen und Signale zur effizienten Abwicklung des Betriebs benötigt.

Zielsetzung

Um zu verhindern, dass das Wachstum die Leistungsfähigkeit der Industrie- und Werkbahnen übersteigt und daraus Engpässe entstehen, die eine Stagnation der positiven Wirtschaftsentwicklung hervorrufen können, müssen rechtzeitig die Voraussetzungen für einen dauerhaft funktionierenden Betrieb der Teilnetze geschaffen werden. Als Teilnetze sind hierbei räumlich begrenzte Bahnsysteme zu verstehen, die sich aufgrund ihrer infrastrukturellen, organisatorischen oder betrieblichen Besonderheiten von ihrer Netzumgebung unterscheiden, jedoch über Anschlussgleise mit dieser verbunden sind und mit ihr in starker betrieblicher Abhängigkeit stehen können, z. B. bei Industrie- und Werkbahnen oder in Rangier- und Umschlagbahnhöfen des Hauptnetzes.

Die Basis für die Transportdurchführung im Allgemeinen ist das Vorhandensein von Kapazität. Wie kaum ein anderes Verkehrsmittel ist die Eisenbahn auf die Kapazität des zugehörigen Verkehrsweges angewiesen. Der Eisenbahnbetrieb erfordert das Vorhandensein freier Trassen für das Einplanen und Durchführen von Zugfahrten. Die Ermittlung und Bewertung der Kapazität von Infrastrukturabschnitten und -netzen sowie der gesamten Anlagen unter Betriebsbedingungen ist somit unverzichtbarer Bestandteil der Transportplanung.

Die Prozesse Kapazitätsbestimmung und -bewertung sowie die Qualitätsbewertung des Betriebs werden jedoch häufig entkoppelt oder jeweils zu wenig differenziert betrachtet. Das Ziel der Arbeit ist daher die Entwicklung eines neuen Ansatzes zur differenzierten Kapazitätsbestimmung, wobei damit die Unterscheidung verschiedener Bewertungsebenen von der theoretischen bis zur betrieblich nutzbaren Kapazität und die Unterscheidung spezifischer Netzelemente in Abhängigkeit der Art ihrer betrieblichen und verkehrlichen Nutzung gemeint sind. Die Arbeit konzentriert sich vornehmlich auf räumlich begrenzte, jedoch aufkommensstarke Teilnetze des Eisenbahngüterverkehrs. Bei Industrie- und Werkbahnen oder in Rangier- und Umschlagbahnhöfen des Hauptnetzes überlagern sich viele voneinander abhängige Einzelverkehre. Zudem wird der planmäßige Eisenbahnbetrieb von kleinen und größeren Störungen beeinflusst, die zu Verspätungen und Folgehandlungen im Bereich der Disposition führen. Durch die vielschichtigen Abhängigkeiten der durchzuführenden Fahrten untereinander wird die Kapazitätsbestimmung und -bewertung komplex. Dennoch bietet der Ansatz ein hohes Potential zur Standardisierung, da wesentliche Betriebsparameter in unterschiedlichen Teilnetzen des Eisenbahngüterverkehrs i. d. R. vergleichbar sind, insbesondere das ähnliche Geschwindigkeitsniveau bei den Zug- und Rangierfahrten.

Mindestanzahl der aus einem einzelnen Eingangszug resultierenden Fahrten im ganzen Zuqumlauf bei Einzelbedienfahrten und Paarigkeit der Betriebsprozesse:

$$\sum F_{ges} = 2 * (\sum EgZug + \sum EgTfzf + \sum EgRf) \quad (Formel 4.2)$$

$$\sum EgRf = \sum EgRfZB + \sum EgRfB + \sum EgRfL \quad (Formel 4.3)$$

$$\sum F_{ges} = 6 + 4 * Anz_EgZGR \quad (Formel 4.4)$$

- mit:
- F_{ges} Gesamtzahl der Fahrten
 - $EgZug$ Eingangszug
 - $EgTfzf$ Triebfahrzeugleerfahrten nach den Zugeinfahrten
 - $EgRf$ Rangierfahrten nach Zugeinfahrt und vor dem Warenumschlag
 - $EgRfZB$ Rangierfahrten zur Zugbildung nach Zugeinfahrt und vor dem Warenumschlag
 - $EgRfB$ Rangierfahrten als Bedienfahrten in die Ladestellen nach Zugeinfahrt und vor dem Warenumschlag
 - $EgRfL$ Rangierlokleerfahrten nach Zugeinfahrt und vor dem Warenumschlag
 - Anz_EgZGR Anzahl der Zuggruppen des Eingangszuges (z. B. „1“ bei Ganzzug)

Bisher wurde die aus einem Eingangszug resultierende Anzahl an Fahrten betrachtet. Im Folgenden wird ermittelt, wie viele Fahrten für die vollständige Belegung eines Umschlaggleises bzw. -zeitfensters aus mehreren Eingangszügen notwendig sind. Hierbei muss, wie zuvor beschrieben, zwischen der Art der Bedienfahrten differenziert werden. Einzelbedienfahrten zur Bildung eines ganzen Zuges direkt im Umschlaggleis sind möglich, wenn das jeweilige Umschlagverfahren und die Netzkapazität zulässt, dass alle Wagengruppen durch einzelne Fahrten nacheinander zugeführt werden (vgl. Abbildung 4-11).

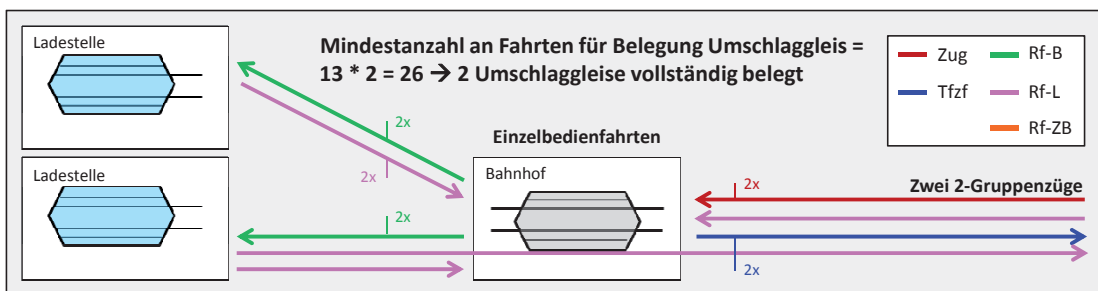


Abbildung 4-11: Mindestanzahl an Fahrten für die vollständige Belegung von Umschlaggleisen bei Einzelbedienfahrten [Autor]

Wenn die Belegung der Umschlaggleise bzw. -zeitfenster durch Mehrgruppenganzzüge erfolgen soll, müssen diese zuvor aus einer entsprechenden Anzahl von Eingangszügen gebildet werden. Dabei entstehen zusätzliche Zugbildungsrangierfahrten und es werden zusätzliche Gleiskapazitäten im Bahnhof beansprucht (vgl. Abbildung 4-12).

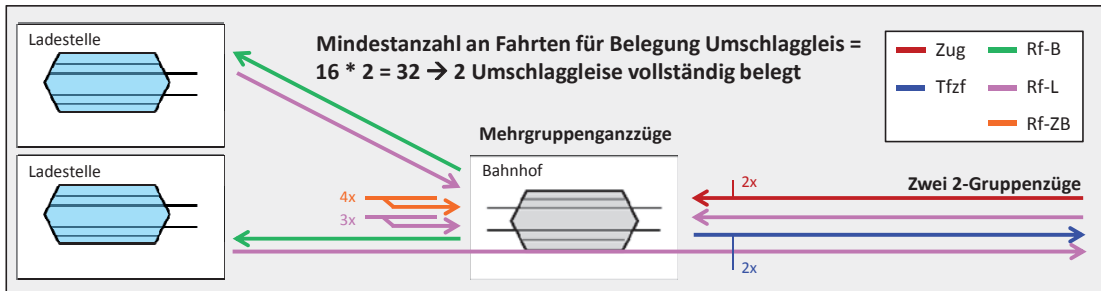


Abbildung 4-12: Mindestanzahl an Fahrten für die vollständige Belegung von Umschlaggleisen mit Mehrgruppenganzzügen [Autor]

Die bei der Rangierzugbildung benötigten Umsetzfahrten lassen sich um jeweils zwei Fahrten reduzieren, wenn die durch die Eingangszüge belegten Gleise auch gleich für die Zugbildung genutzt werden können. Bei der Fahrtenberechnung wird jedoch davon ausgegangen, dass die Einfahrgleise nicht für die Zugbildung zur Verfügung stehen. In einigen Fällen müssen diese z. B. zügig geräumt werden, um weitere Eingangszüge aufnehmen zu können. Die Tabelle 4-2 fasst die Ausführungen zusammen.

| Benötigte Mindestanzahl von Fahrten für die Belegung von <u>Umschlaggleisen</u> (in gleicher Anzahl wie Zuggruppierung) | | | | | | | | | |
|---|-----------------------|--------------|------------|-------------|------------|------------|---------|-----------|-------------------------|
| Produktionsart | Fahrt | Zug | Tzfz | Rf-ZB | Rf-B | Rf-L | SUMME | SUMME | SUMME |
| | Zweck | Ein-gang | Leer-fahrt | Zug-bildung | Bedien-ung | Leer-fahrt | Fahrten | Fahrten | Belegte Umschlag-gleise |
| | Zustellung | vor Umschlag | | | | | | insgesamt | |
| Ganzzug | Einzelbedien-fahrten | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 | 5 | 10 | 1 |
| 2-Gruppenzug | | 2 | 2 | 0 | 4 | 5 | 13 | 26 | 2 |
| 3-Gruppenzug | | 3 | 3 | 0 | 9 | 10 | 25 | 50 | 3 |
| 5-Gruppenzug | | 5 | 5 | 0 | 25 | 26 | 61 | 122 | 5 |
| 2-Gruppenzug | Mehr-gruppen-ganzzüge | 2 | 2 | 4 | 2 | 6 | 16 | 32 | 2 |
| 3-Gruppenzug | | 3 | 3 | 9 | 3 | 12 | 30 | 60 | 3 |
| 5-Gruppenzug | | 5 | 5 | 25 | 5 | 30 | 70 | 140 | 5 |

mit: Tzfz = Triebfahrzeugleerfahrt, Rf-ZB = Rangierfahrt zur Zugbildung, Rf-B = Rangierfahrt zur Bedienung der Ladestelle, Rf-L = Leerfahrt einer Rangierlok

Tabelle 4-2: Mindestanzahl von Fahrten für die Belegung von Umschlaggleisen im Wagenumlauf eines Teilnetzes des SGV [Autor]

Die Fahrtenanzahl für die Verfahren „Einzelbedienfahrten und Mehrfachbelegung der Ladestellengleise“ und „Mehrgruppenganzzüge zur zielreinen Bedienung der Ladestellen“ berechnet sich nach Formel 4.5 und 4.6.

Mindestanzahl der für die **vollständige Belegung von Umschlaggleisen** durch **Mehrfachbelegung mit Teilgruppen** benötigten Anzahl von Fahrten bei **Einzelbedienfahrten** und **Paarigkeit der Betriebsprozesse**:

$$\sum F_{ges} = 4 * ZGR^2 + 4 * ZGR + 2 \quad (\text{Formel 4.5})$$

Mindestanzahl der für die **vollständige Belegung von Umschlaggleisen** benötigten Anzahl von Fahrten bei **Ladestellenbedienung mit Mehrgruppenganzzügen** und **Paarigkeit der Betriebsprozesse**:

$$\sum F_{ges} = 4 * ZGR^2 + 8 * ZGR \quad (\text{Formel 4.6})$$

je mit: F_{ges} Gesamtzahl der Fahrten
 ZGR Anzahl Wagenzuggruppen zur Bildung eines gesamten Wagenzug für die Belegung eines Umschlaggleises, entspricht auch der Anzahl der beteiligten Eingangszüge (z. B. „3“ bei 3-Gruppenzügen)

Bei den Berechnungen wird von der benötigten Mindestanzahl an Fahrten ausgegangen. Generell ist zu bemerken, dass die tatsächlich benötigte Anzahl von Fahrten immer von den örtlichen Gegebenheiten (z. B. induzierte Fahrtausschlüsse durch Rangierfahrten) und den verfügbaren Zeitintervallen zwischen den einzelnen Fahrten sowie dem Betriebsverfahren und der Verfügbarkeit der Rangierloks abhängt. Zusätzliche Fahrten können z. B. dadurch entstehen, dass mehrere Rangierloks im selben Netzbereich zeitgleich eingesetzt werden, damit Prozesse parallel durchgeführt werden können.

Im Vergleich zum KV ist im EWL durch die vielen Einzelwagen und oft kleineren zusammenhängenden Wagengruppen die Anzahl der aus einem einzelnen Zug resultierenden Bedienfahrten in die Ladestellen der Anschließer mitunter höher als im Kombinierten Verkehr, wenn die Zuführung zu den Ladestellen über Einzelbedienfahrten erfolgt. Während ein Gruppenzug des KV aus vergleichsweise wenigen Wagengruppen besteht, die jeweils eine zielreine Wagengruppe darstellen, ist der Grad der Gruppierung im EWL meist höher. Da die verursachte Fahrstraßenbelegungszeit jedoch von der durch die einzelnen Fahrten beanspruchten Sperrzeit abhängt, ist sowohl die Anzahl als auch die Länge der Züge in einem Teilnetz ausschlaggebend für den spezifischen Kapazitätsverbrauch. Werden zur Bedienung der Ladestellen in den Rbf auch im EWL Mehrgruppenganzzüge gebildet, lässt sich die Anzahl der Bedienfahrten zwischen den Güterbahnhöfen und Ladestellen wie im KV reduzieren. Ist im Rbf ein Ablaufberg vorhanden, entstehen beim EWL, abgesehen von den Fahrten zwischen den funktionalen Bereichen des Rbf (Einfahr-, Ausfahr-, Richtungsgruppe und Ablaufberg), vergleichsweise wenig Rangierfahrten zum Auflösen und Neusortieren (Umstellen) der Wagen zwischen dem Rbf selbst und den Ladestellen des betrachteten Netzes. Der Grund dafür ist, dass eine automatische Neuverteilung der Wagen i. d. R. über die Ablaufbergsteuerung erfolgen kann. Dadurch fallen außer den sogenannten Bergfahrten keine zusätzlichen Rangierfahrten zur zielreinen Bildung von Wagenverbänden an. Ist kein Ablaufberg vorhanden, müssen die Wagen auch beim EWL mit dem Verfahren Flachrangieren in zusätzlichen Umstellvorgängen umrangiert werden.

| Zuggattungen | | Ferngüterzug | | Nahgüterzug | |
|---|------|--------------|--------|-------------|--------|
| | | FGzE | FGzD | NGzE | NGzD |
| Tfz Typ | [BR] | BR 152 | BR 264 | BR 185 | BR 261 |
| Tfz Länge | [m] | 20 | 23 | 19 | 16 |
| Wagenzuglänge | [m] | 720 | 720 | 360 | 360 |
| Zuglänge gesamt | [m] | 740 | 743 | 379 | 376 |
| Tfz Gewicht | [t] | 87 | 126 | 84 | 80 |
| Wagenzuggewicht | [t] | 1.350 | 1.350 | 900 | 900 |
| Zuggewicht gesamt | [t] | 1.437 | 1.476 | 984 | 980 |
| FGzE/FGzD = Ferngüterzug Elektro/Diesel, NGzE/NGzD = Nahgüterzug Elektro/Diesel | | | | | |

Tabelle 5-2: Festlegung von Zuggattungen für Beispielnetz [Autor]

Die Rangierzuggattungen resultieren für den KV aus der Gruppierung der Wagenzüge (Ganzzug, Halbzug, Drittelzug), im EWL wird standardmäßig ein Wagenzug mit 120 m Länge angesetzt. Für sämtliche Rangierfahrten werden als Traktion Loks der Baureihe 261 (s. u.) mit einer Länge von 16 m und einem Gewicht von 80 t eingesetzt. Die Rangierzuggattungen ergeben sich somit entsprechend folgender Tabelle:

| Rangierzuggattungen | | Ganzzug | Halbzug | Drittelzug | EWL-Gruppe |
|---|------|---------|---------|------------|------------|
| | | RgGz | Rg2Gr | Rg3Gr | RgEWL |
| Tfz Typ | [BR] | BR 261 | BR 261 | BR 261 | BR 261 |
| Tfz Länge | [m] | 16 | 16 | 16 | 16 |
| Wagenzuglänge | [m] | 720 | 360 | 240 | 120 |
| Zuglänge gesamt | [m] | 736 | 376 | 256 | 136 |
| Tfz Gewicht | [t] | 80 | 80 | 80 | 80 |
| Wagenzuggewicht | [t] | 1.350 | 675 | 450 | 200 |
| Zuggewicht gesamt | [t] | 1.430 | 755 | 530 | 280 |
| Bsp.: Rg2Gr = Rangierfahrt 2-Gruppenzug, RgEWL = Rangierfahrt Einzelwagenladungsverkehr | | | | | |

Tabelle 5-3: Festlegung von Rangierzuggattungen für Beispielnetz [Autor]

Die Tfzf-Gattungen ergeben sich direkt aus den Loks der Ein- und Ausgangszüge. Es wurden insgesamt vier Gattungen als Tfzf erstellt. Dabei handelt es sich um folgende Loks:

- BR 152 Siemens ES64F Anfahrzugkraft: 300 KN Leistung: 6.400 KW [DB03/02]
- BR 264 Voith Maxima Anfahrzugkraft: 432 KN Leistung: 2.750 KW [wwwVO]
- BR 185 Bombardier Traxx Anfahrzugkraft: 300 KN Leistung: 5.600 KW [EB06/11]
- BR 261 Voith Gravita Anfahrzugkraft: 258 KN Leistung: 1.200 KW [wwwVO]

Anzahl und Verteilung der Fahrten

Es wird zunächst ein Fahrplangrundkonzept als Ausgangsbasis konstruiert, da das Verfahren eine Iteration der Betriebsbelastung bis zur maximalen betrieblichen Leistungsfähigkeit vorsieht. Ausgangspunkt für die im Beispielnetz stattfindenden Verkehre sind die in Tabelle 5-4 nach Art, Anzahl und Fahrtrelation dargestellten Züge.

| Eingangszüge | | | Zuggattungen | | | | Ausgangszüge | | | Zuggattungen | | | |
|----------------------|--------------|-----------|--------------|------|------|------|----------------------|--------------|-----------|--------------|------|------|------|
| aus übergeordn. Netz | | | FGzE | NGzE | FGzD | NGzD | ins übergeordn. Netz | | | FGzE | NGzE | FGzD | NGzD |
| Ziel | Produkt | SUM | 40% | 40% | 10% | 10% | Start | Produkt | SUM | 40% | 40% | 10% | 10% |
| VG | KV-Ganzzüge | 10 | 4 | 4 | 1 | 1 | VG | KV-Ganzzüge | 10 | 4 | 4 | 1 | 1 |
| | KV 2-Gr.züge | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | | KV 2-Gr.züge | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | KV 3-Gr.züge | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 | | KV 3-Gr.züge | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| EGr | KV Ganzzüge | 5 | 2 | 2 | 0 | 1 | AGr | KV Ganzzüge | 5 | 2 | 2 | 0 | 1 |
| EGr | EWL | 10 | 4 | 4 | 1 | 1 | AGr | EWL | 10 | 4 | 4 | 1 | 1 |
| SUMME | | 30 | 12 | 12 | 3 | 3 | SUMME | | 30 | 12 | 12 | 3 | 3 |

FGzE/FGzD = Ferngüterzug Elektro/Diesel, NGzE/NGzD = Nahgüterzug Elektro/Diesel

Tabelle 5-4: Zugfahrten der Ein- und Ausgangszüge nach Gattungen [Autor]

Die Anzahl der Tzfz resultiert direkt aus den Eingangs- und Ausgangszügen. Die Tzfz beginnen im Anschluss einer Zugfahrt in die VGr oder EGr. Kurz nach der Zugankunft (ca. 15 Minuten) fahren sie entweder zurück ins übergeordnete Netz (ÜgNetz), in die Lokabstellung (LoA) oder haben einen direkten Übergang auf einen Ausgangszug (ÜgZug). In diesem Fall übernimmt das Tzfz eines Eingangszuges direkt einen Ausgangszug. Daraus resultiert auch der Unterschied zwischen der Anzahl der Ein- und Ausgangszüge (60 Fahrten, s. o.) und der Summe der Tzfz (50 Fahrten, vgl. Tabelle 5-5), da diese bei direkten Tzfz-Übergängen zwischen Ein- und Ausgangszügen nur einmal gezählt werden. Vor der Zugausfahrt aus der VGr oder der AGr erfolgen Tzfz im selben Verhältnis wie zuvor bei der Einfahrt nun in die Gleisgruppen. Dabei erreichen sie die Wagenzüge kurz vor der planmäßigen Abfahrt (ca. 15 Minuten). Diese Zeit kann angesetzt werden, da im Rahmen der Arbeit das Vorhandensein von Bremsprobeeinrichtungen unterstellt wird. Ansonsten müssten die Tzfz erheblich früher (ca. eine Stunde) am Wagenzug sein, um eine vollständige Bremsprobe durchführen zu können (vgl. Kap. 4.2.1, Fahrzeiten und Standzeiten). Es wird folgende Verteilung angesetzt.

| Tzfz | | nach Zug-einfahrt | Über-gang | vor Zug-ausfahrt | Start | Ziel |
|--------------|--------|-------------------|-----------|------------------|--------|--------------|
| VG (KV) | ÜgNetz | 5 | | 5 | ÜgNetz | VG (KV) |
| | ÜgZug | → | 5 | ← | ÜgZug | |
| | ÜgLoA | 5 | | 5 | ÜgLoA | |
| EGr (KV) | ÜgNetz | 2 | | 2 | ÜgNetz | AGr (KV) |
| | ÜgZug | → | 2 | ← | ÜgZug | |
| | ÜgLoA | 1 | | 1 | ÜgLoA | |
| EGr (EWL) | ÜgNetz | 4 | | 4 | ÜgNetz | AGr (EWL) |
| | ÜgZug | → | 3 | ← | ÜgZug | |
| | ÜgLoA | 3 | | 3 | ÜgLoA | |
| SUMME | | 20 | 10 | 20 | | |

Tabelle 5-5: Tzfz nach Start und Ziel [Autor]

Zwischen den Ein- und Ausgangszügen wird Symmetrie angenommen. Insgesamt finden je 30 Ein- und Ausgangszugfahrten statt. Die Eingangszüge fahren entweder in die Einfahrgruppe oder direkt in die Vorstellgruppe.

Beim Verlassen des Beispielnetzes beginnen die Zugfahrten ebenfalls entweder in der Vorstellgruppe oder in der Ausgangsgruppe. Die Aufteilung der Zuggattungen nach der Traktion

www.eurailpress.de

ISBN 978-3-87154-501-6



9 783871 545016