

Deutschlandweite Kapazitätsermittlung von Strecken und Knoten

Schüttert, Andreas^{1*}, Kogel, Bastian¹, Kurby, Stephan² und Nießen, Nils¹

¹Verkehrswissenschaftliches Institut, RWTH Aachen

²DB Netz AG, Fahrwegkapazität und EBWU (I.NMF 34)

Zusammenfassung

Mit Hilfe des Verfahrens zur Industrialisierung eisenbahnbetriebswissenschaftlicher Untersuchungen wird eine automatisierte und netzweite Kapazitätsermittlung für Strecken und Knoten ermöglicht. Hierzu werden die erforderlichen Verfahrensschritte der Datenaufbereitung und Modellierung, der Kapazitätsberechnung mit Hilfe der analytischen Methode sowie der Ergebnisdarstellung aufgezeigt. Wesentliches Anwendungsgebiet im Rahmen des Kapazitätsmanagements stellt eine kapazitätsorientierte Infrastrukturgestaltung und Netzentwicklung dar.

Keywords: Netzweite Kapazitätsermittlung, Industrialisierung eisenbahnbetriebswissenschaftlicher Untersuchungen (IEBWU), Fahrwegkapazität, LUKS, LUKS-N, Optimierung Trassenzuweisung (OTZ)

1 Einleitung

Die Infrastruktur ist bereits heutzutage auf Teilen der Hauptkorridore des deutschen Schienennetzes stark ausgelastet. Bei der prognostizierten Steigerung der Verkehrsleistung des Schienenverkehrs und einer Beibehaltung der heutigen Infrastruktur ist mit einer weiteren Auslastungssteigerung, einem Rückgang der Pünktlichkeit sowie

einer zunehmenden Anzahl an Trassenabweisungen zu rechnen. Um diesen Anstieg der Verkehrsleistung marktgerecht bedienen zu können, ist im Rahmen des Kapazitätsmanagements die Kenntnis netzweiter Kapazitätskennwerte für einen gezielten Infrastrukturausbau und -neubau sowie eine effiziente Steuerung der Nutzung der vorhandenen Kapazitäten notwendig. Nach dem heutigen Stand der Technik lassen sich Kapazitätskennwerte sowohl für Strecken als auch für Knoten im Rahmen aufwendiger und zeitintensiver eisenbahnbetriebswissenschaftlicher Untersuchungen (EBWU) ermitteln [1]. Dies erfordert einen hohen Personalaufwand und eine aufwendige Datenhaltung, sodass derzeit keine aktuellen, netzweiten Kapazitätskennwerte existieren. Derartige Kennwerte liegen lediglich für solche Strecken und Knoten vor, die aufgrund einer erheblichen infrastrukturellen Änderung durch Neu-, Um- oder Rückbaumaßnahmen eine Einzeluntersuchung nach behördlichen Anordnungen durch das Eisenbahn-Bundesamt gemäß §§ 11,18 AEG erfordert haben.

Das Verkehrswissenschaftliche Institut der RWTH Aachen (VIA) erarbeitet gemeinsam mit der DB Netz AG (Abteilung Fahrwegkapazität und EBWU (I.NMF 34)) ein Verfahren zur Industrialisierung von EBWU mit dem Ziel, den Erstellungsprozess von Einzeluntersuchungen zu vereinfachen sowie eine automatisierte netzweite Kapazitätsberechnung zu ermöglichen. Hierfür sind zunächst die Grundlagen hinsichtlich der Dateneingabe, -verwaltung und -übernahme bezüglich einer netzweiten Modellierung der Infrastruktur und der darauf abgewickelten Zugfahrten zu entwickeln. Zudem sind geeignete Verfahren der Kapazitätsermittlung für eine deutschlandweite Anwendung auszuwählen.

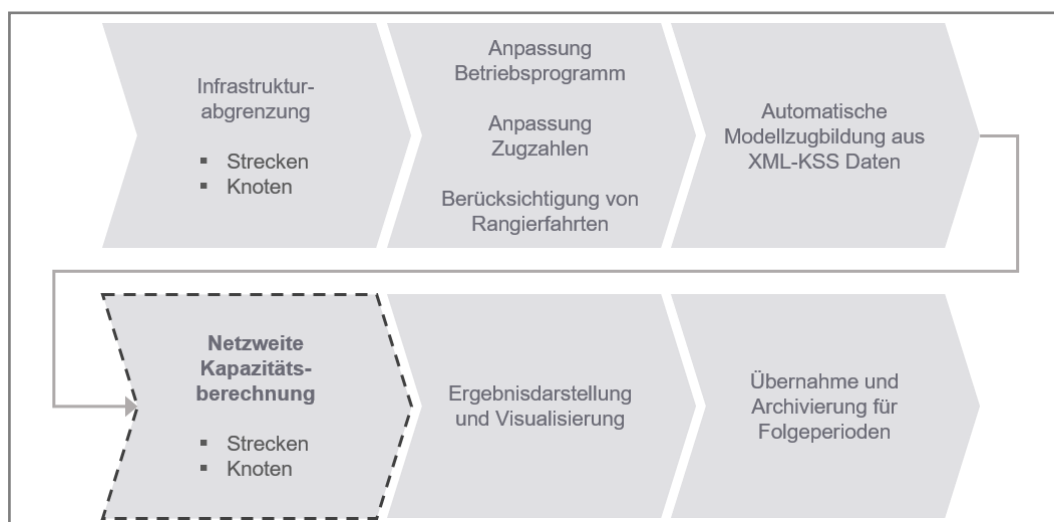


Abbildung 1: Ablaufdiagramm des Verfahrens der deutschlandweiten Kapazitätsermittlung

Das Verfahren strebt dabei eine Nachvollziehbarkeit der Berechnungsergebnisse, eine Minimierung des Arbeitsaufwandes bei der Datenverarbeitung und Ergebnisauswertung sowie eine möglichst große Realitätsnähe an.

2 Aufbereitung von Eingangsdaten

Die mit Hilfe der analytischen Methode ermittelbare Kapazität wird von der Infrastruktur, den Zugfahrten, den Verspätungskennwerten sowie den gültigen Qualitätskenngrößen beeinflusst. Für eine deutschlandweite Anwendung analytischer Kapazitätsberechnungen von Strecken und Knoten sind zunächst die Eingangsdaten der eisenbahnbetriebswissenschaftlichen Untersuchungen bei der DB Netz AG – Infrastrukturdaten (XML-ISS), Fahrplandaten (XML-KSS), Betriebsdaten des Leitsystems Disposition (LeiDis) – aufzubereiten.

2.1 Infrastrukturabgrenzung

Zur Kapazitätsberechnung sind Strecken zunächst in einzelne Streckenobjekte zu unterteilen. Eine solche Trennung erfolgt an Betriebsstellen, an denen sich das Betriebsprogramm signifikant ändert. Die Detektion dieser Trennstellen erfolgt netzweit nach Auswertung von LeiDis-Betriebsdaten. Hierbei können Änderungen des Betriebsprogrammes bezogen auf die Gesamtzuganzahl sowie bezogen auf zugklassenspezifische Zuganzahlen bzw. -anteile aufgezeigt werden.

Auch für Knoten, welche aus einer oder mehreren Gleisgruppen (Bahnhofsgleise) und einem oder mehreren Gesamtfahrstraßenknoten (Weichenvorfelder) bestehen, ist eine teilautomatische Abgrenzung der genannten Infrastrukturelemente vorzunehmen. Trotz dieser (teil-)automatischen Verfahren im Rahmen der Industrialisierung von EBWU ist die Kapazitätsberechnung aufgrund des hohen manuellen Aufwandes der Infrastrukturabgrenzung und Datenaufbereitung nur für eine Auswahl relevanter Knoten durchzuführen (vgl. Abbildung 2). Zur Empfehlung einer Auswahl dieser relevanten Knoten wurden u. a. die Bedeutung des Anlagenumfanges (Weichenanzahl im Knoten), die vorhandenen ICE- oder IC-Systemhalte sowie der Fernverkehrsanteil bewertet. Der anschließende Infrastrukturimport der ausgewählten Knoten erfolgt bis zu dem nächsten planmäßigen Halt des höchstrangigen Fernreisezuges oder – sollte diese weiter von dem betrachteten Knoten entfernt liegen – bis zur nächsten nutzbaren Halteposition des Güterverkehrs.



Abbildung 2: Empfehlung einer Auswahl relevanter Knoten im Kontext IEBWU

Ebenso ist für Knoten eine Abgrenzung in Gleisgruppen vorzunehmen. Hierbei ist verfahrensbedingt eine gegenseitige Vertretbarkeit von Gleisen einer Gleisgruppe für deren Kapazitätsberechnung erforderlich. Im Rahmen der Industrialisierung von EBWU wurde hierfür ein Verfahren entwickelt, mit welchem Gleise anhand verschiedener Kriterien – wie bspw. die Erreichbarkeit aus allen Zu- und in alle Ablaufstrecken, die Elektrifizierung und die zur Verfügung stehenden Halteplatznutzlängen – zu Gleisgruppen zusammengefasst werden können. Damit eine solche Zusammenfassung vorgenommen wird, müssen die verglichenen Gleise für alle hinterlegten Kriterien eine Übereinstimmung aufweisen, welche über einen Schwellwert definiert wird. Weisen die Gleise keine Übereinstimmung gemäß den Schwellwerten auf, wird der Vergleich der Gleispaarung abgebrochen und das nächste, noch keiner Gleisgruppe zugeordnete Gleis wird herangezogen. Das Verfahren wird solange durchlaufen, bis alle Gleise mit allen gebildeten Gleisgruppen oder einzelnen Gleisen verglichen wurden. Eine solche automatisierte Gleisgruppenabgrenzung ist vor der Durchführung der Kapazitätsberechnung manuell durch einen Bearbeiter auf Korrektheit zu überprüfen.

2.2 Anpassung Betriebsprogramm

Auch die Betriebsprogrammdateien werden teilautomatisiert aufbereitet, sodass hierbei ebenso eine Minimierung händischer Eingriffe durch die Bearbeiter gewährleistet wird. Die für EBWU benötigten Datensätze werden im Wesentlichen für den Fahrplanerstellungsprozess und nicht spezifisch für die Beurteilung eisenbahnbetrieblicher Fragestellungen generiert. Somit weisen die Datensätze im Rahmen analytischer Leistungsfähigkeitsberechnungen teilweise unvollständige Informationen auf und sind daher aufzubereiten. Die teilautomatisierte Aufbereitung gewährleistet dabei insbesondere für die erforderliche Bildung von Modellzügen eine ausreichende Datengüte. Modellzüge stellen eine Gruppe von sogenannten Einzelzügen mit vergleichbaren fahrdynamischen und betrieblichen Eigenschaften dar und repräsentieren diese bei der Kapazitätsberechnung zur Minimierung des Rechenaufwandes. Eine automatische Anpassung der Einzelzüge ist somit im Vorfeld der Modellzugbildung für eine korrekte Zuordnung erforderlich. Insbesondere sind Anpassungen hinsichtlich der Halteplatznutzlängen, der Mindesthaltezeiten sowie der Zugkategorien vorzunehmen. Zudem ist die in dem Tool LUKS® (Leistungsfähigkeitsuntersuchungen für Knoten und Strecken) implementierte Modellzugbildung hinsichtlich der hinterlegten Zuordnungskriterien und Schwellwerte an die Erfordernisse einer netzweiten Berechnung anzupassen [2]. Hierbei wurde das existierende Verfahren um die Zuglänge als neues Kriterium der Modellzugbildung für den Güterverkehr erweitert. Im Rahmen der Modellzugbildung werden zunächst alle Einzelzüge des Betriebsprogramms anhand von definierten Kriterien – wie bspw. der Zugart, der maximalen Geschwindigkeit oder der Abfahrtszeit in der Referenzbetriebsstelle – zu Modellzügen gruppiert. Diesen Modellzügen werden anschließend fahrdynamische und betriebliche Eigenschaften zugewiesen, welche die enthaltenen Einzelzüge bestmöglich repräsentieren. Durch die Weiterentwicklung des Verfahrens wird nun auch die Zuglänge als ein Gruppierungskriterium für Güterzüge herangezogen. Zuvor waren aufgrund der Nichtberücksichtigung der Zuglänge signifikante Abweichungen dieser Eigenschaft innerhalb von Modellzügen nachzuweisen. Eine Nutzung von Überholungsmöglichkeiten durch einen dem Modellzug zugeordneten kurzen Einzelzug konnte für die Kapazitätsberechnung somit u. U. ausgeschlossen werden, da die Zuglänge des Modellzuges größer ist. Eine weitere Anpassung wurde hinsichtlich der Gewichtung der Zuordnungskriterien für den Personen- und Güterverkehr im Rahmen der automatischen Modellzugbildung vorgenommen. Aufgrund unterschiedlicher Zugkonfigurationen im Güterverkehr müssen

Abweichungen der Eigenschaften von Einzelzügen eines Modellzuges eher toleriert werden als im Personenverkehr. Durch den Ansatz unterschiedlicher Gewichtungen der Zuordnungskriterien wird dieser Unterschied zum Personenverkehr, welcher sich aufgrund vertakteter Umläufe mit ähnlichen Wagenkonfigurationen nicht signifikant unterscheidet, berücksichtigt. Die vorgenommenen Anpassungen der automatischen Modellzugbildung ermöglichen eine realitätsnahe Abbildung des Betriebsprogrammes und reduzieren den händischen Korrekturaufwand auf Seiten des Bearbeiters.

2.3 Anpassung Zugzahlen

Zur Berücksichtigung möglichst realitätsnaher Zugfahrten sind im Rahmen einer netzweiten Kapazitätsberechnung tatsächlich verkehrte Zugfahrten anstelle der geplanten Zugfahrten des Netzfahrplans zu betrachten. Gemäß DB-Richtlinie 405 sind, sofern der Gelegenheitsverkehr eine relevante Einflussgröße darstellt, Zuganzahlen unter Berücksichtigung ihrer Laufwege und Tagesganglinie in die Berechnung aufzunehmen. Mit Hilfe eines im Rahmen des Projektes entwickelten Verfahrens zur Anpassung von Zugfahrten auf Grundlage von LeiDis-Daten ist es möglich, geplante Zugfahrten des Netzfahrplans, welche für einen definierten Referenztag im Betrieb nicht gefahren sind, zu entfernen. Ebenso werden Mehrverkehre – z. B. Ad-Hoc-Verkehre oder baubedingte Umleiter – durch das Verfahren berücksichtigt. Eine solche Anpassung der Zugfahrten hat insbesondere auf Güterverkehrsstrecken aufgrund des höheren Anteils an Ad-Hoc-Verkehren signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse der Kapazitätsberechnung. Durch die Berücksichtigung tatsächlich verkehrter Zugfahrten bilden die netzweiten Kapazitätsberechnungen den Betrieb realitätsnah ab.

2.4 Berücksichtigung von Rangierfahrten

Rangierfahrten beeinflussen die Knotenkapazität teilweise erheblich und sind daher im Rahmen der Kapazitätsberechnung nicht vernachlässigbar. Die Anzahl an Rangierfahrten ist knotenspezifisch sehr unterschiedlich und abhängig von den örtlichen Gegebenheiten, dem Anteil beginnender und endender Züge sowie den betrieblichen Aufgaben des Knotens. In den Eingangsdaten sind jedoch trotz des teilweise erheblichen Einflusses keine Informationen zu Rangierfahrten und Abstellanlagen enthalten. Zur Gewährleistung realitätsnaher Berechnungsergebnisse ist es daher erforderlich, Rangierfahrten (zumindest näherungsweise) in das Betriebsprogramm aufzunehmen. Hierzu sind Informationen hinsichtlich der relevanten Zugfahrten, der Laufwege und der

Zeitpunkte der Rangierfahrten aus der Gleisbelegung der Eingangsdaten abzuleiten. Zur Berücksichtigung von Rangierfahrten wurde ein Verfahren zur Nachbildung von in den Eingangsdaten fehlenden Rangierbewegungen entwickelt. Hierbei werden die Laufwege von abzustellenden Zugfahrten in eine zu definierende Abstellanlage verlängert. Ein analoges Vorgehen der Laufwegverlängerung wird für Zugfahrten aus der Bereitstellung vorgenommen. Auf diese Weise werden Belegungen von Infrastrukturelementen zwischen dem Halteplatz am Gleis und der Abstellanlage nachgebildet und finden Einfluss in die anschließende Modellzugbildung und Kapazitätsberechnung. Die Berechnungsergebnisse von Gesamtfahrstraßenknoten können durch die Berücksichtigung der Rangierfahrten deutlich realitätsnäher werden, wohingegen diese bei der Bemessung von Gleisgruppen nur einen sehr geringen Einfluss aufweisen.

3 Netzweite Kapazitätsberechnung

Nach erfolgreicher Aufbereitung der Infrastruktur- und Betriebsprogrammdata erfolgt die eigentliche netzweite Kapazitätsberechnung automatisiert. Sie erfolgt dabei für einen zu definierenden Referenzbetriebstag, welcher innerhalb der Netzfahrplanperiode frei festgelegt werden kann. Die unter 2.3 beschriebene Anpassung der Zugzahlen wird für eben diesen Referenzbetriebstag vorgenommen und spiegelt somit die betrieblichen Ereignisse dieses Referenzbetriebstages realitätsnah wider. Zu differenzieren sind dabei Verfahren für die Berechnung von Strecken- und Knotenkapazitätskennwerten. Sowohl die analytischen Verfahren für Strecken als auch diejenigen für Knoten basieren auf einem mikroskopischen Infrastrukturmodell, so dass sich Infrastrukturänderungen unmittelbar auf die Sperrzeiten und damit auf die exakte Berechnung des Kapazitätsverbrauches auswirken.

3.1 Strecken

Mit Hilfe der an der RWTH Aachen entwickelten warteschlangenbasierten Verfahren werden streckenspezifisch praktische Kapazitäten n_{opt} berechnet. Die praktische Kapazität n_{opt} unterstellt dabei eine Begrenzung der außerplanmäßigen Wartezeiten bzw. Verspätungen auf ein zulässiges marktgerechtes Maß, das sogenannte Level of Service (vgl. Abbildung 3).

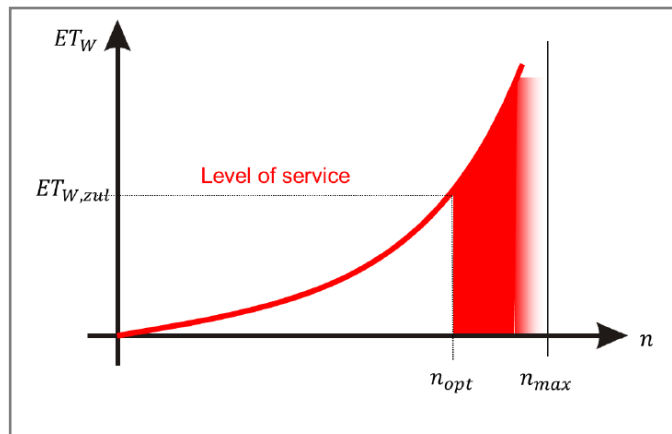


Abbildung 3: Zusammenhang zwischen Zuganzahl und Wartezeit

Die Berechnungen der Kapazitäten basieren auf der sogenannten STRELE-Formel, welche die außerplanmäßigen Wartezeiten einer Strecke unter Berücksichtigung der auf dieser Strecke verkehrenden Zugfahrten ermittelt [3]. Ergebnis der Berechnung ist dabei die Anzahl von Zügen, welche unter Berücksichtigung eines gegebenen Verspätungsniveaus eine Strecke innerhalb eines Bezugszeitraumes mit einer zufriedenstellenden Servicequalität befahren kann. Die resultierende Kapazität ist dabei maßgeblich abhängig von den vorhandenen Verspätungskennwerten am Einbruchspunkt, Mindestzugfolgezeiten und Rangunterschieden der Zugfahrten des betrachteten Betriebsprogrammes. Die STRELE-Formel unterstellt dabei einen konfliktfreien Ausgangsfahrplan sowie exponentialverteilte Pufferzeiten.

3.2 Knoten

Die analytische Berechnung der Knotenkapazität unterscheidet sich für Gleisgruppen und Gesamtfahrstraßenknoten.

Für Gleisgruppen wird im Rahmen der Industrialisierung von EBWU gemäß Stand der Technik das Verfahren nach Hertel [4] angewandt. Die gegenseitige Vertretbarkeit sämtlicher Gleise einer Gleisgruppe stellt hierbei die wesentliche Eingangsvoraussetzung für die Berechnung der Wartewahrscheinlichkeit p_w als relevante Kenngröße dar. Durch das in 2.1 dargestellte Verfahren zur Infrastrukturabgrenzung von Gleisgruppen ist die Einhaltung dieser Voraussetzung gewährleistet. Als Eingangsgrößen fließen u. a. die Anzahl der Zugfahrten im Untersuchungszeitraum, deren Ankunftsabstände im Knoten sowie die Gleisbelegungszeiten in das Berechnungsverfahren ein. Als Berechnungsergebnis stellen sich planmäßige Wartezeiten vor der Gleisgruppe ein.

Hieraus lassen sich durch den Abgleich mit zulässigen Wartezeiten zulässige Knotenbelastungen ermitteln.

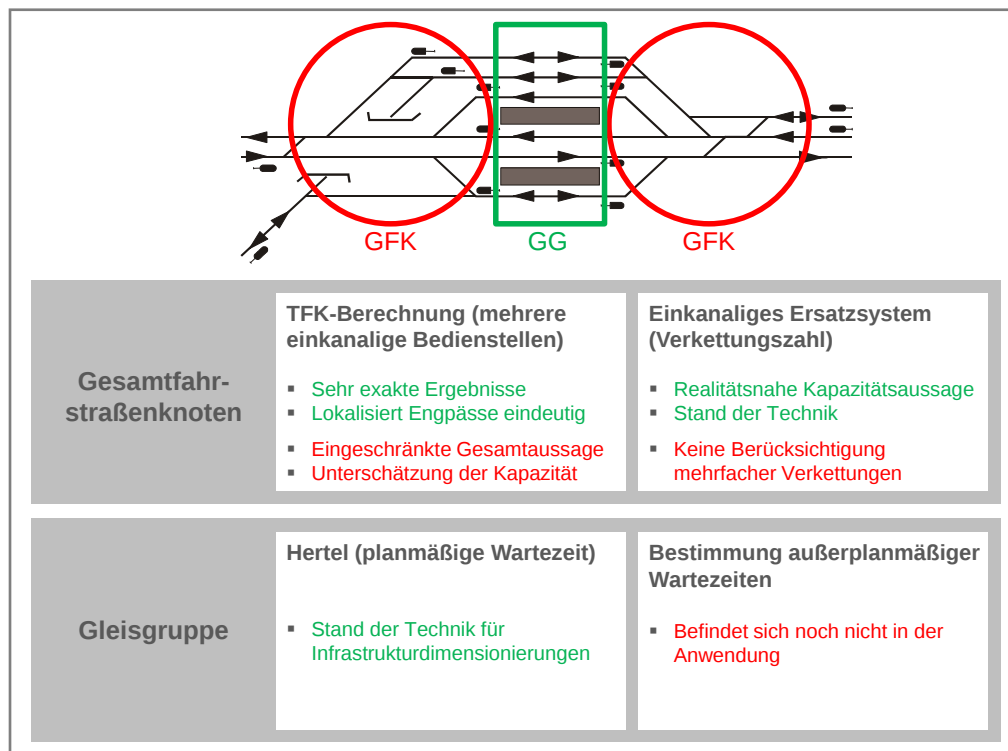


Abbildung 4: Gegenüberstellung von Berechnungsverfahren für Gesamtfahrstraßenknoten und Gleisgruppen

Die analytische Berechnung für Gesamtfahrstraßenknoten erfolgt auf Basis des Verkettungsansatzes nach Potthoff [5]. Hierbei wird unterstellt, dass der Gesamtfahrstraßenknoten ein Warteschlangensystem darstellt, welches zumindest zeitweise mehrkanalig sein kann. Zur Berechnung der in einem Gesamtfahrstraßenknoten entstehenden Wartezeiten wird dieser hilfsweise auf ein einkanaliges Ersatzsystem reduziert. Hierfür wird die sogenannte Verkettungszahl φ verwendet, welche die Wahrscheinlichkeit beschreibt, dass sich zwei Zugfahrten in einem Gesamtfahrstraßenknoten ausschließen. Berechnungsergebnis sind auch hier planmäßige Wartezeiten, welche durch den Abgleich mit den zulässigen Wartezeiten nach dem Qualitätsmaßstab nach Schwanhäuser zu einer zulässigen Zuganzahl für den Gesamtfahrstraßenknoten umgerechnet werden können. Im Kontext der Industrialisierung von EBWU ist das Verfahren gegenüber anderen Verfahren, wie bspw. der Berechnung von Teilfahrstraßenknoten [6], aufgrund der realitätsnahen Gesamtaussage für den gesamten Infrastrukturbereich zu bevorzugen. Aufgrund der umfassenden Datenaufbereitung ist bei einer nachgeordneten Durchführung von

Einzeluntersuchungen die Lokalisierung von Engpässen durch eine Berechnung von Teilfahrstraßenknoten dennoch durchführbar.

Die Kapazitätsberechnungen erfolgen, wie gezeigt, getrennt für Strecken sowie für Knoten und basieren jeweils auf anerkannten und in der Praxis angewandten analytischen Berechnungsverfahren. Es existiert jedoch zurzeit noch kein wissenschaftlich anerkanntes Verfahren zur Verrechnung der Einzelkapazitäten von Strecken und Knoten. Somit ist eine Verrechnung von Strecken- und Knotenkapazitäten im Rahmen der Industrialisierung von EBWU nicht möglich.

4 Ergebnisdarstellung

Die auf diese Weise ermittelten Kapazitätskennwerte für Strecken und Knoten sind für eine eisenbahnbetriebswissenschaftliche Auswertung aufzubereiten.

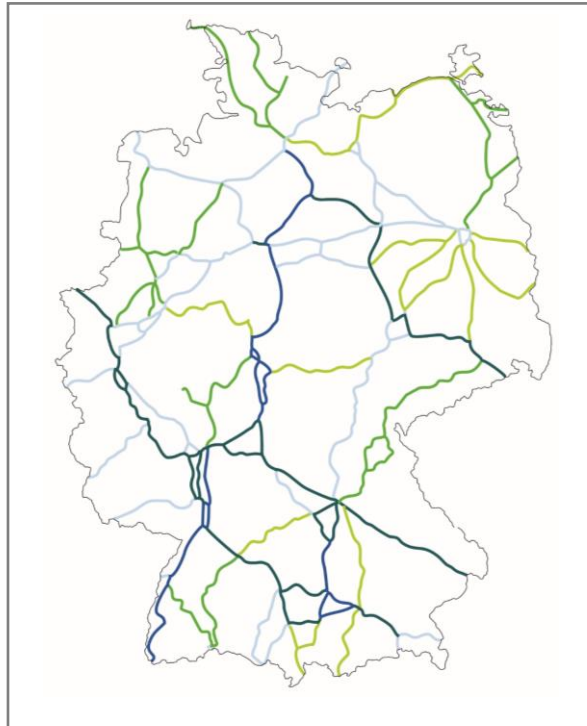


Abbildung 5: Beispielhafte Darstellung einer deutschlandweiten Netzkarte [7]

Neben der Ausgabe von Ergebnislisten werden die Ergebnisse zudem auch als Netzkarten visualisiert. Eine solche Visualisierung kann sich dabei auf das gesamte deutsche Schienennetz oder auf einzelne Netzausschnitte (Regionalbereiche, Bundesländer oder Teilnetze) beziehen. Neben der Ausweisung vorhandener Kapazitäten ist auch eine Darstellung von Auslastungen sowie Kapazitätsengpässen und -reserven möglich.

5 Übernahme für Folgeperioden

Durch eine Archivierung der Ergebnisse unterschiedlicher Untersuchungen ist zudem ein Vergleich über verschiedene Betrachtungsperioden hinweg möglich sowie eine Trendentwicklung der verschiedenen Auswerteparameter darstellbar. Die Erkenntnisse dieser Trendentwicklung stellen wesentliche Inputdaten für den Betrieb und die strategische Netzentwicklung dar. Durch einen Vergleich mit den Kapazitätskennwerten der aktuellen Betrachtungsperiode können vielfältige eisenbahnbetriebswissenschaftliche Schlussfolgerungen gezogen werden. Die Ergebnisse der vorherigen Betrachtungsperiode, alle vorgenommenen Änderungen der Eingangsdaten sowie die programmintern gewählten Einstellungen der Kapazitätsberechnung sind dazu zu archivieren.



Abbildung 6: Datenstruktur der XML-ISS-Eingangsdaten

Um eine Vergleichbarkeit sowohl der Infrastrukturdaten (XML-ISS) als auch der Fahrplandaten (XML-KSS) zweier Betrachtungsperioden zu gewährleisten, ist zunächst ein Abgleich der Eingangsdaten erforderlich. Die Infrastrukturdaten werden auf makroskopischer Ebene einer Überprüfung von Änderungen der hinterlegten Betriebsstellen unterzogen. Dabei werden Änderungen von Trennstellen der

Streckenprojekte (vgl. Kapitel 2.1) sowie Änderungen der Streckendefinitionen aufgezeigt. Auf mikroskopischer Ebene werden Änderungen der Infrastrukturelemente innerhalb einer Betriebsstelle detektiert. Dabei ist es sowohl möglich unterjährige Änderungen von Elementen als auch vorgenommene Änderungen im Rahmen der netzweiten Kapazitätsberechnung aufzuzeigen und zu berücksichtigen (vgl. Abbildung 6).

Ebenso werden die zugrundeliegenden Fahrplandaten zweier Betrachtungsperioden miteinander verglichen, um Auswirkungen auf die Modellzugbildung sowie abweichende Fahrwege zu erkennen. Die aufgezeigten Verfahrensschritte gewährleisten schließlich eine Vergleichbarkeit der Eingangsdaten unterschiedlicher Betrachtungsperioden und erlauben somit den Vergleich der Berechnungsergebnisse sowie die Ableitung einer Trendentwicklung.

Eine der Herausforderungen bei der Industrialisierung der EBWU ist, die durch manuelle Nachbearbeitung erzeugten Änderungen sowohl der Infrastrukturdaten (XML-ISS) als auch der Fahrplandaten (XML-KSS) mit einem minimalen manuellen Pflegeaufwand von einer Infrastrukturversion in eine darauffolgende Infrastrukturversion zu übernehmen um ggf. behobene Fehler bzw. Unplausibilitäten nicht jedes Mal erneut manuell beheben zu müssen. Die dabei erreichte Qualität des Übernahmeprozesses wird ein entscheidender Faktor für die Effizienz und Personalintensität der IEBWU sein.

6 Fazit

Die erstmalig aktuell und netzweit vorliegenden Kapazitätskennwerte ermöglichen vielfältige Anwendungsbereiche des Kapazitätsmanagements. Zunächst stellen die automatisiert berechneten Kapazitätskennwerte eine geeignete Arbeitsgrundlage für detaillierte eisenbahnbetriebswissenschaftliche Untersuchungen dar. So können Bearbeiter auf die automatisch erzeugten Datenbanken zugreifen und diese den speziellen Gegebenheiten ihrer eisenbahnbetriebswissenschaftlichen Fragestellung entsprechend anpassen. Darüber hinaus liegen erstmals deutschlandweit, auch für bislang nicht eisenbahnbetriebswissenschaftlich untersuchte Strecken sowie ausgewählte Knoten, Kennwerte vor, die im Rahmen der Langfristplanung für eine kapazitätsorientierte Infrastrukturgestaltung und Netzentwicklung genutzt werden können. Auf Basis prognostizierter Betriebsprogramme können hierbei für verschiedene Infrastrukturkonfigurationen Variantenuntersuchungen durchgeführt werden. Es ist zudem möglich durch einen periodenübergreifenden Vergleich der Ergebnisse eine

Trendentwicklung abzuleiten und auf diese Weise Infrastrukturmaßnahmen sinnvoll und effizient zu planen.

Literatur

- [1] DB Netz AG (Hrsg.), *Richtlinie Fahrwegkapazität*, idF v. 13.02.2009.
- [2] D. Janecek, F. Weymann und T. Schaer, „LUKS - integriertes Werkzeug zur Leistungsuntersuchung von Eisenbahnknoten und -strecken,“ *Eisenbahntechnische Rundschau*, Nr. 1+2, pp. 35-32, 2010.
- [3] N. Weik, N. Niebel und N. Nießen, „Capacity analysis of railway lines in Germany – A rigorous discussion of the queueing based approach,“ *Journal of Rail Transport Planning & Management*, Nr. 6, pp. 99-115, 2016.
- [4] K. Fischer und G. Hertel, „Bedienungsprozesse im Transportwesen: Grundlagen und Anwendungen der Bedientheorie,“ *Transpress*, 1990.
- [5] W. Schwanhäußner, „Die Ermittlung der Leistungsfähigkeit von großen Fahrstraßenknoten und von Teilen des Eisenbahnnetzes,“ *Archiv für Eisenbahntechnik*, Nr. 33, pp. 7-18, 1978.
- [6] N. Nießen, „Queueing,“ in Hansen, I. A.; Pachel, J. (Ed.) *"Railway Timetabling & Operations"*, Eurailpress, 2014, pp. 117-126.
- [7] B. Kogel, N. Nießen und A. Schütttert, „Fahrwegkapazität deutschlandweit ermitteln,“ *Deine Bahn*, Nr. 12, pp. 43-45, 2015.

Autoren



Schüttert, Andreas

Andreas Schüttert, M. Sc. ist seit 2014 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Verkehrswissenschaftlichen Institut der RWTH Aachen. Sein wesentliches Forschungsgebiet stellt die Eisenbahnbetriebswissenschaft dar. Sein Studium des Wirtschaftsingenieurwesens (Bauingenieurwesen mit Vertieferrichtung Verkehr und Raumplanung) absolvierte er an der RWTH Aachen.



Kogel, Bastian

Dipl.-Ing. Bastian Kogel ist seit 2009 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Verkehrswissenschaftlichen Institut der RWTH Aachen, wo er seit 2013 zusätzlich die Funktion der Institutsvertretung innehat. Wesentliche Forschungsgebiete stellen derzeit die Eisenbahnbetriebswissenschaft und die Verkehrswirtschaft dar. Zuvor war er nach seinem Studium (Bauingenieurwesen mit Vertieferrichtung Verkehrswesen und Raumplanung an der RWTH Aachen) als Team- und Projektleiter im Bereich Technologie der DB Netz AG tätig.



Kurby, Stephan

Dr.-Ing. Stephan Kurby ist seit 2016 Teilprojektleiter des Projektes IEBWU im Rahmen des Programmes Zukunft Bahn der Deutschen Bahn AG. Seit 2009 ist er Mitarbeiter der DB Netz AG, wo er in den Bereichen Technologie und Betrieb u. a. an der Weiterentwicklung analytischer Verfahren zur Berechnung der Leistungsfähigkeit in Gesamtfahrstraßenknoten sowie an der Weiterentwicklung der Dispositionssysteme beteiligt war. Sein Studium sowie seine Promotion absolvierte er an der Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ der TU-Dresden.

**Nießen, Nils**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Nils Nießen ist seit 2013 Professor für Schienenbahnwesen und Verkehrswirtschaft und Leiter des Verkehrswissenschaftlichen Instituts (VIA) der RWTH Aachen. Nach dem Studium des Bauingenieurwesens und der Wirtschaftsgeographie an der RWTH Aachen promovierte er dort 2008. Anschließend war er Projektingenieur bei der HaCon Ingenieurgesellschaft in Hannover und danach Geschäftsführer der VIA Consulting & Development GmbH.