Deutschlandweite Kapazitätsaussagen mittels Automatisierung von eisenbahnbetriebswissenschaftlichen Untersuchungen

Weymann, Frédéric[1], Kurby, Stephan[2], Janecek, David[1]

[1]VIA Consulting & Development GmbH
[2]DB Netz AG, Fahrwegkapazität und EBWU (I.NMF 34)

Zusammenfassung

Um regelmäßig netzweite Kapazitätsaussagen unter Beachtung der Fahrplan- und Infrastrukturentwicklung treffen zu können, wurde die Notwendigkeit der Automatisierung von eisenbahnbetriebswissenschaftlichen Untersuchungen (EBWU) erkannt. Um dieser Aufgabe gerecht zu werden, wurde auf Basis des etablierten EBWU-Tools LUKS das auf beliebiger Netzgröße arbeitende Tool LUKS-N entwickelt. Dieser Beitrag befasst sich insbesondere mit der technischen Realisierung und den notwendigen Datenmanipulationen, um eine weitgehende Automatisierung der Berechnungen zu ermöglichen.

Kapitel 1 befasst sich mit den Zielen, in Kapitel 2 werden Grundlagen und Vorarbeiten erläutert, Kapitel 3 beschreibt die angewendete Methodik und Kapitel 4 die Umsetzung in LUKS. Schließlich fasst Kapitel 5 den Artikel zusammen.

Keywords: Leistungsfähigkeit; Kapazität; Fahrwegkapazität; Netzweite Kapazitätsermittlung; Analytik; LUKS; LUKS-N; Warteschlagentheorie; Industrialisierung eisenbahnbetriebswissenschaftlicher Untersuchungen (IEBWU); Optimierung Trassenzuweisung (OTZ)

1 Einleitung

Aussagen zur netzweiten Kapazität bzw. Leistungsfähigkeit des Eisenbahnnetzes sind ein wichtiger Baustein für die Planung von Infrastruktur und Liniennetz. Sie sind überlebenswichtig für die Zukunft des Systems Bahn.

1.1 Ziele

Für eine fundierte und flexible Infrastrukturentwicklung sowie eine effektive Nutzung des Netzes sind unter Beachtung der fortschreitenden Entwicklung von Fahrplan und Infrastruktur regelmäßige Kapazitätsaussagen für alle Strecken in Deutschland notwendig. Das ist aufgrund des hohen Zeitaufwands nicht mit manuell zu bearbeitenden Studien erreichbar.

Aus diesem Grund wurde im Rahmen der Industrialisierung von Verfahren zur Durchführung eisenbahnbetriebswissenschaftlicher Untersuchungen (EBWU) im Jahr 2017 von der DB Netz AG und der VIA-Con ein F&E-Projekt zur Entwicklung der Anwendung LUKS-N gestartet. LUKS-N wird mit dem Ziel entwickelt, die Berechnung deutschlandweiter Kennzahlen zur Leistungsfähigkeit von Strecken auf Basis von bestehenden Datenquellen mit einem möglichst geringen manuellen Bearbeitungsaufwand zu ermöglichen. Angestrebt wird eine regelmäßige, zum Beispiel monatliche Berechnung der Kennwerte. Neben einem hohen Automatisierungsgrad sollen im Rahmen der standardisierten Berechnung sogenannte Null-Varianten bereitgestellt werden, welche als Basis für Detail- und Variantenberechnungen in LUKS verwendet werden können. Somit wird im Projekt weiterhin angestrebt, auch bestehende Prozesse maßgeblich zu beschleunigen, ohne einen Qualitätsverlust in Kauf nehmen zu müssen. Im Rahmen der Entwicklung wurden Herausforderungen identifiziert und von den Projektpartnern in enger Abstimmung mit praxisnahen Algorithmen gelöst.

2 Grundlagen

2.1 Eisenbahnbetriebswissenschaftliche Untersuchungen

Für die Ermittlung der Leistungsfähigkeit von Strecken ist in Deutschland bereits seit langem der warteschlangentheoretische Ansatz im Rahmen analytischer Untersuchungen etabliert, welcher bei der DB Netz AG durch das Verfahren LUKS-A angewendet wird. Die manuelle Durchführung der EBWU durch erfahrene Sachbearbeiter garantiert Ergebnisse von hoher Qualität und Aussagekraft [1, 2]. Abhängig von der Komplexität der je-

weiligen Fragestellung werden für die Erstellung einer sachkundigen EBWU jedoch mehrere Wochen benötigt; auch die Erstellung einer zugehörigen Null-Variante ist – abhängig von den jeweils genutzten Eingangsdaten – mit mehreren Tagen anzusetzen.

2.2 Datengrundlage

Die durchgeführten EBWU basieren auf tagesscharfen Daten des Trassenmanagements, die zur Erreichung von allgemeingültigen Aussagen abstrahiert werden müssen, da sie in der verfügbaren Form hinsichtlich Umfang, Granularität und Güte nicht für den direkten Einsatz in warteschlagentheoretischen Anwendungen nutzbar sind.

Notwendig sind die folgenden Eingangsdaten:

- Infrastrukturdaten:
  Um aussagekräftige kapazitive Ergebnisse zu erhalten, sind mikroskopische Infrastrukturdaten unerlässlich. Diese werden über die Infrastruktur-Schnittstelle (ISS) des DaViT-Spurplans bereitgestellt.
- Fahrplandaten:
  Die zugehörigen Fahrplandaten aus der Konstruktions-Schnittstelle (KSS) von RuT-K referenzieren die zugehörigen ISS-Daten. Je nach Art der Untersuchung und resultierendem Zeitpunkt der Datenbereitstellung enthalten sie geplante, zukünftige Zugfahren oder einen bereits vergangenen Fahrplan. In letzterem Fall sind in den Daten auch Adhoc-Bestellungen enthalten. Die Daten bilden somit den tatsächlich abgefahrenen Fahrplan realitätsgetreu ab.
- Verspätungsdaten:
  Verspätungswerte gehen entweder richtlinienkonform [5] in die Berechnungen ein oder werden als Durchschnittswerte vergangener Zeitperioden aus Systemen (z.B. LeiDis) der DB Netz AG übernommen.

Die anschließende Sichtung und Anpassung der Eingangsdaten nimmt bei der individuellen Erstellung einer EBWU einen erheblichen zeitlichen Aufwand in Anspruch. Bei schätzungsweise über 2500 zu erwartenden Einzelberechnungen ist eine manuelle Bearbeitung nur noch im Einzelfall möglich. Trotzdem ist eine Vielzahl von Anpassungen obligatorisch, um plausible Ergebnisse zu gewährleisten.

Im Rahmen des Projektes wird daher einerseits versucht, systematische Probleme der Eingangsdaten zu identifizieren und automatisch zu beheben, um somit die Datengrundlage zu verbessern. Zusätzlich sollen manuelle Änderungen aus vorhergehenden Zeitscheiben übernommen werden können. Den größten Hebel bilden jedoch Heuristiken, die aus den Erfahrungen und dem Expertenwissen der langjährigen Bearbeiter abgeleitet sind. Im folgenden Kapitel werden einige der Heuristiken näher beleuchtet.

2.3 Vorarbeiten

Die Anwendung baut auf wissenschaftliche Vorarbeiten, u.a. aus dem Projekt „Industrialisierung von eisenbahnbetriebswissenschaftlichen Untersuchungen“ der DB Netz AG mit dem Verkehrswissenschaftlichen Institut der RWTH Aachen auf. Verwiesen wird auf die folgenden Veröffentlichungen:

- Deutschlandweite Kapazitätsermittlung von Strecken und Knoten [3],
- LUKS – integriertes Werkzeug zur Leistungsuntersuchung von Eisenbahnknoten und -strecken [4].

3 Methodik

Für LUKS-N wurden verschiedene Heuristiken zur Datenanpassung entwickelt, unter anderem zu den Themen Gleisnutzungen, Verkehrstageschlüssel, Fahrplangültigschaltung, Bildung von Modellzügen und Übergänge an Bearbeiter- und Niederlassungsgrenzen, welche iterativ im Rahmen prototypischer Testrechnungen verbessert wurden.

3.1 Modellierung von Infrastruktur und Fahrplan

In diesem Abschnitt wird anhand von drei Beispielen erläutert, wie Heuristiken auf die Eingangsdaten wirken.

Halteplatzanpassungen

Als Beispiel sei hier die Planung eines Halts an einem konkreten Halteplatz genannt. Die Angaben zu Nutzlänge und Verkehrsart sind bei einer manuellen Planung nur Basisinformationen, welche mit Hintergrundwissen ignoriert werden können. Ein automatischer Prozess muss sich bei der Suche nach alternativen Haltemöglichkeiten dagegen auf die verfügbaren Daten verlassen. Andernfalls würden automatisch Halte eingelegt, welche in der Realität zu Deadlocks führen oder aus Sicht der Leit- und Sicherungstechnik nicht durchführbar sind.

Für den im Projekt angestrebten Automatisierungsgrad und Betrachtungsumfang müssen die verfügbaren Daten daher an die neuen Anforderungen angepasst werden. Eine manuelle Nachbearbeitung durch den Bearbeiter ist bei deutschlandweiten Betrachtungen nicht umsetzbar, weshalb für verschiedene Problembereiche heuristische Verfahren entwickelt wurden.

Wie oben erwähnt sind bei Halteplätzen und Fahrwegen belastbare Metadaten zur automatischen Erkennung von Halte- und Überholungsmöglichkeiten notwendig. Die entwickelten Heuristiken arbeiten dabei streng fahrplanbasiert. Sieht der Fahrplan einen eigentlich unzulässigen Halt oder Fahrverlauf vor, so werden Infrastruktur- und Fahrplandaten

so angepasst, dass der Halt zulässig wird: Unter Beachtung von Grenzwerten und Infrastrukturrestriktionen, wie die Position von Zugschlussstellen, werden zu kurze Haltplätze verlängert oder die Länge des Gespanns von Zugfahrten verkürzt. Betriebliche Halteplätze, die zum Beispiel zum Personalwechsel genutzt werden, fehlen in den Daten häufig komplett. In diesen Fällen erfolgt entweder ein Wechsel auf ein vertretbares Gleis oder es wird der offensichtlich fehlende Halteplatz mit speziellen Namen ergänzt.

Fahrwegeigenschaften

Ein vergleichbares Vorgehen wird bei dem Fahrplan widersprechenden Fahrwegeigenschaften wie Priorität oder Stumpfgleismarkierung angewandt: Es wird eine Kopie des nicht nutzbaren Fahrwegs erzeugt und dessen Eigenschaften an die Anforderungen der Zugfahrt angepasst. Dies erlaubt wie bei den ergänzten Halteplätzen bei einer manuellen Betrachtung eine rasche Identifizierung von heuristischen Infrastrukturänderungen.

Zusammenführung mikroskopischer Zugdaten

Weiterhin ist zu beachten, dass die konstruierten Zugfahrten entlang ihres Laufweges aus verschiedenen Gründen geteilt sein können: Sie überfahren Bearbeiter-, Niederlassungs- oder Landesgrenzen, der Infrastrukturbetreiber wechselt, sie machen Kopf oder ändern ihre fahrdynamischen Eigenschaften. Diese „Teilzüge“ müssen zu einem durchgehenden Zuglauf, einem „Einzelzug“, verschmolzen werden. Dazu werden diese zunächst anhand von Haupt- und Folgenummer sowie Zeiten, Start- und Endbetriebsstellen in eine sinnvolle Reihenfolge gebracht. Da jeder Teilzug separat konstruiert wird, kann es zu Inkonsistenzen an den Übergängen zwischen zwei Teilzügen kommen. Diese werden je nach Situation durch eine Anpassung der Haltezeiten und Zugdaten, Einlegen komplett neuer Halte, Fahrwegänderungen und Veränderungen am Ein- und Ausbruchverhalten gelöst. Bei Bedarf werden an Infrastrukturgrenzen zusätzliche Halteplätze eingeführt, um Übergangshalte zu ermöglichen.

Das Ergebnis dieser Änderungen ist ein gültiger Fahrplan mit sauberen Zugläufen, der die Restriktionen der Infrastruktur beachtet. Alle automatisch durchgeführten Anpassungen werden umfangreich dokumentiert, so dass eine Abweichung zu den originalen Eingangsdaten identifiziert und bei Bedarf für eine manuelle EBWU rückgängig gemacht werden kann.

3.2 Betrachtungsräume

Eine große Herausforderung ist die sinnvolle Aufteilung des deutschen Streckennetzes in für die Analytik geeignete Betrachtungsräume. Die üblichen Streckenkataloge, wie STREDA oder der Buchfahrplan, führen zu ungeeigneten Streckenabgrenzungen, was zur Über- oder Unterschätzung der Kapazität führt. Es wurde daher eine Schnittstelle zum

Export der automatischen Abgrenzung nach VZG-Streckenverzeichnis und für den Import, der auf dieser Basis manuell nachbearbeiteten Betrachtungsräume entwickelt.

Zur weiteren Reduzierung des manuellen Aufwands wurden Heuristiken entwickelt, welchen eine Datenübernahme bei veränderter Datenbasis unterstützen. Somit kann einerseits die Qualität einer Berechnung durch Iteration der Arbeitsschritte

- Datenmanipulation,
- Berechnungen,
- Plausibilisierung der Ergebnisse und
- Anpassung der Abgrenzung der Betrachtungsräume

verbessert werden. Andererseits brauchen bei Betrachtung beispielsweise einer anderen Zeitscheibe nach Übernahme einer bestehenden Abgrenzung nur wenige Anpassungen vorgenommen werden.

3.3 Modellierung des Warteschlangensystems

Nach der Festlegung der Betrachtungsräume ist es notwendig, auf Basis der mikroskopischen Infrastruktur die durchgehenden Hauptgleise in beide Richtungen sowie die im Verlauf der Berechnung als nutzbar anzunehmenden Überholungsmöglichkeiten festzulegen. Diese Aufgabe obliegt bei normalen EBWU einem Bearbeiter, ist aus den bereits genannten Gründen im angestrebten Umfang jedoch manuell nicht möglich.

Es ist daher notwendig, auch diesen Modellierungsschritt zu automatisieren. Hierzu werden im Einzelnen:

1. Startpunkte an den Rändern des Betrachtungsraumes detektiert.
   Hierbei handelt es sich üblicherweise um Halteplätze. Sollten mehrere zulässige Halteplätze erkannt werden, werden diese über die Betrachtungsraumgrenzen plausibilisiert.
2. Ausgehend von den Startpunkten sind die Verläufe der beiden Richtungsgleise zu ermitteln. Dabei sind Kreuzungen der Gleise zu vermeiden, da andernfalls fehlerhafte eingleisige Abschnitte unterstellt werden.
   Die importierte Infrastruktur stellt über Parameter einzelner Elemente einen guten Ausgangspunkt für diese Suche dar. In Situationen, in denen die Eingangsdaten zu keiner kreuzungsfreien Definition der Richtungsgleise führen, wird ergänzend versucht, über eine lokale Suche eine alternative Lösung zu finden.
3. Die gefundene Lösung wird abschließend bewertet. Dies ermöglicht dem Bearbeiter die schnelle Identifikation von Objekten, die vor einer Berechnung überprüft werden sollten.

Nach Definition und ggf. manueller Anpassung der Richtungsgleise aller Betrachtungsräume sind die infrastrukturellen Voraussetzungen für eine Berechnung geschaffen.

3.4 Verkehrstageschlüssel und Fahrplangültigschaltung

Eisenbahnbetriebswissenschaftliche Untersuchungen werden immer für einen repräsentativen Betriebstag durchgeführt. Die importierten KSS-Daten enthalten dagegen Fahrplandaten für mehr als den zu untersuchenden Tag. Es muss daher entschieden werden, welche Zugfahrten tatsächlich am Betrachtungstag verkehren. Hier gibt es zwei größere Problemfelder.

Umleiter

Umleiter kommen zum Einsatz, wenn eine Zugfahrt in einem Zeitraum gegenüber der Jahresplanung auf einem abweichenden Laufweg verkehrt. Sie sind als separate Trassen in den Fahrplandaten enthalten. Die zugehörige Regeltrasse muss in diesem Fall für den entsprechenden Tag als ungültig markiert werden, was jedoch nicht immer geschieht. Der Import aller laut Daten gültigen Umleiter und Regeltrassen führt daher zu Doppelungen und Inkonsistenzen bei der in Abschnitt 3.1 beschriebenen Zusammenführung von Laufwegen. Andererseits würde der Verzicht auf alle Umleiter zu Lücken in den Zugläufen führen.

Es ist daher notwendig, bei jedem gültigen Umleiter zu erkennen, ob eine zugehörige Regeltrasse existiert. Basis sind dabei die Hauptnummer- und Folgenummer sowie die Passfähigkeit zu den vorherigen und nachfolgenden Teilzügen. Da Umleiter per Definition auf einem anderen Laufweg verkehren als die Regeltrasse, dürfen diese hier nicht verwendet werden.

Bei Doppelung muss entschieden werden, welche Trasse übernommen werden soll. Da das Ziel die Betrachtung eines repräsentativen Betriebstages ist, ist die Wahl des Regelzuges sinnvoll. Umleiter kommen nur zum Einsatz, wenn es ohne diese zu Lücken im Gesamtlaufweg kommen würde.

Gültigschaltung

Unabhängig von Umleitern haben Tests gezeigt, dass Trassen-Eigenschaften wie „In Arbeit“, „Sonderzug“, „Bedarfszug“ sowie der Verkehrstageschlüssel nicht immer konsequent gepflegt werden. Im Fahrplanprozess werden diese Probleme bei der abschließenden Zusammenführung zu einem Fahrplan gelöst. Im Projekt IEBWU führen sie jedoch dazu, dass unabhängig von den gewählten Filtereinstellungen entweder zu viele oder zu wenige Züge importiert werden.

Es werden daher in einem ersten Schritt optimistisch alle Regelzüge als gültig betrachtet und in einem nachgelagerten Schritt Duplikate heuristisch erkannt und entfernt. Haben

zwei Zugfahrten dieselbe Hauptnummer, werden ihre Laufwege auf identische Betriebsstellenreihung und nahezu identische Zeiten verglichen. Ist einer der Laufwege ein Teilstück des anderen, wird diese Trasse gelöscht. Sind beide Laufwege sogar identisch, wird die Trasse mit den schlechteren fahrdynamischen Eigenschaften als maßgeblich gewählt.

3.5 Bildung von Modellzügen

Basis von EBWU und den daraus resultierenden Kapazitätsaussagen sind sogenannte Modellzüge, welche als Eingangsdaten in warteschlangentheoretische Verfahren und somit in die Leistungsfähigkeitsberechnung eingehen. Ein einzelner Modellzug stellt dabei einen Repräsentanten von mehreren einzelnen, tatsächlich verkehrenden Zugfahrten dar. Er bildet somit einen „Mittelwert“ über unterschiedliche, aber sehr ähnliche Zugfahrten. Dieser Ansatz reduziert die Komplexität der Berechnung durch die Reduzierung der zu betrachtenden Zugfahrten enorm und ermöglicht somit eine detaillierte mikroskopische Berechnung bei akzeptierten Genauigkeitsverlusten.

Algorithmen zur automatischen Ableitung von Modellzügen aus den Eingangsdaten in Form von konstruierten Zugfahrten sind seit vielen Jahren etabliert und vom Eisenbahnbundesamt (EBA) akzeptiert. Die zugrundeliegenden Verfahren werden parallel zur Entwicklung von LUKS weiterentwickelt. Durch das Projekt IEBWU kommen jedoch zwei neue Aspekte zum Tragen, welche die Modellzugbildung und ihre Weiterentwicklung maßgeblich beeinflusst haben:

- Bei klassischen EBWU wurde jede Modellzugbildung von einem erfahrenen Bearbeiter validiert und enthaltene Unstimmigkeiten manuell angepasst. Soweit möglich, wurden diese Erkenntnisse in die Weiterentwicklung der Modellzugbildung übernommen.
  Die angestrebte Menge an Untersuchungen schließt, wie auch bei den anderen Problemstellungen, eine manuelle Bearbeitung weitgehend aus. Daher wurde eine restriktivere Bestimmung der Modellzüge eingeführt, welche zwar insgesamt zu einer größeren Menge an Modellzügen führt, andererseits die repräsentierten Trassen jedoch besser abbildet.
- Die deutschlandweite Berechnung von Streckenleistungsfähigkeiten identifizierte durch die vollständige Berücksichtigung aller Streckenabschnitte Spezialfälle, die bisher in der manuellen Anwendung nicht aufgetreten sind. Dies führte zur weiteren Anpassung der Modellzugbildung, wie beispielsweise einer Adaption der unterstellten Haltepolitik bei Güterzügen.

3.6 Plausibilisierung der Berechnungsgrundlage

Wie bereits ausgeführt, ist aufgrund der deutschlandweiten Betrachtung und regelmäßigen Berechnungen eine manuelle Nachbearbeitung aller Probleme nicht realistisch. Daher werden diese stattdessen heuristisch gelöst und müssen anschließend durch den Bearbeiter nur noch geprüft werden.

Zur Vereinfachung der Überprüfung werden alle gelösten oder nicht automatisch lösbaren Probleme mit Zügen tabellarisch aufgeführt. Eine detaillierte Prüfung dieser sehr umfangreichen Liste ist zwar nicht praktikabel, aber bei unplausiblen Ergebnissen kann sie als Grundlage für die Ursachenforschung dienen.

Zusätzlich werden alle Teilstrecken aufgeführt, bei denen entweder kein Analytik-Streckenobjekt erzeugt werden konnte oder bei denen es zu Kreuzungen der beiden Fahrtrichtungen auf zweigleisigen Strecken kommt.

Wurden bereits Rechnungen durchgeführt, bietet sich zusätzlich ein Vergleich mit den vorherigen Zeitscheiben an. Auf der Kartendarstellung werden dazu neue, veränderte und entfallende Betriebsstellen farblich hervorgehoben. In veränderten Betriebsstellen werden zusätzlich in einer mikroskopischen Ansicht die veränderten und neuen Gleisabschnitte angezeigt. Auch ein aggregierter Vergleich der Zugdaten in Form von Zugzahlen je Zugart ist möglich. Bereiche ohne signifikante Abweichungen im Infrastruktur- oder Fahrplanbereich müssen nicht erneut geprüft werden, was den wiederholten Prüfungsaufwand stark reduziert.

3.7 Validierung der Ergebnisse

Aufgrund der Komplexität des Systems Bahn und der Eingangsdaten treten Spezialfälle auf, deren vollautomatische Berechnung nicht praktikabel ist. Der Bearbeiter muss aber die Güte der ermittelten Ergebnisse rasch einschätzen können, um Strecken mit manuellem Nachprüfungsbedarf identifizieren zu können. Hierzu wurden verschiedene Kennwerte identifiziert, welche grafisch und tabellarisch dargestellt und mittels Schwellenwerten geprüft werden können. Dazu zählen die Nennleistung, der Qualitätsfaktor sowie Anteile an Zugfahrten mit Warnmeldungen.

4 Umsetzung in LUKS-N

Die im vorherigen Kapitel beschriebenen Ansätze wurden in der Anwendung LUKS-N realisiert. Diese werden im Folgenden kurz vorgestellt.

4.1 Architektur

LUKS-N verwendet eine Client-Server-Architektur mit einer zentralen relationalen Datenbank im Zentrum, mit der sich die unterschiedlichen LUKS-N-Applikationen verbinden (Abbildung 85).

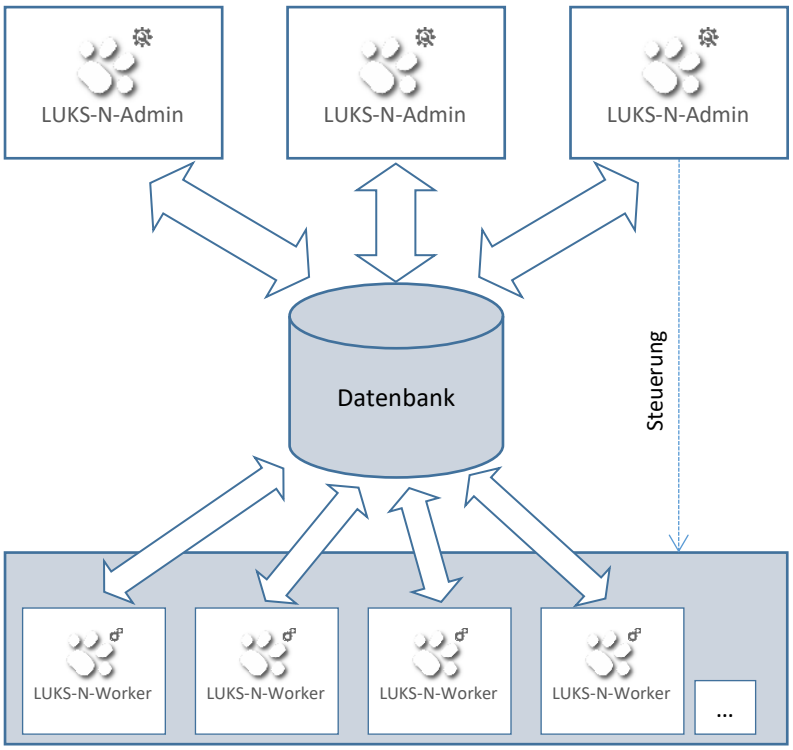


Abbildung 85: Systemarchitektur von LUKS-N

Der LUKS-N-Admin erlaubt die parallele Betrachtung, Erfassung und Verwaltung der zentral gespeicherten Daten durch mehrere Anwender. Zur Sicherung der Datenkonsistenz ist dabei die Bearbeitung auf disjunkte Bereiche beschränkt.

Die von einem LUKS-N-Admin angestoßenen Berechnungen werden im Hintergrund von mehreren parallel arbeitenden LUKS-N-Workern durchgeführt. Jeder Worker lädt aus der zentralen Datenbank die Daten der ihm zugewiesenen Strecke, führt die gewünschten Analytik-Rechnungen durch und schreibt die Ergebnisse zurück in die Datenbank.

Als weitere Anwendung ist ein LUKS-N-Viewer angedacht, welcher ausschließlich die Betrachtung und Auswertung von freigegebenen Ergebnissen ermöglicht und keine Bearbeitungsmöglichkeiten bietet.

4.2 LUKS-N-Admin

Der LUKS-N-Admin wurde als Windows-Anwendung realisiert und stellt die zentralen Funktionalitäten in einer einheitlichen Oberfläche zu Verfügung. Zur optimalen Ausnutzung der Mehrkernsysteme werden alle Aufgaben soweit möglich auf parallelisierte Arbeitsthreads mit jeweils eigener Datenbankverbindung aufgeteilt.

Die Anwendung ermöglicht einen Import von Infrastrukturdaten über die XML-ISS-Schnittstelle und von Fahrplandaten über die XML-KSS-Schnittstelle.

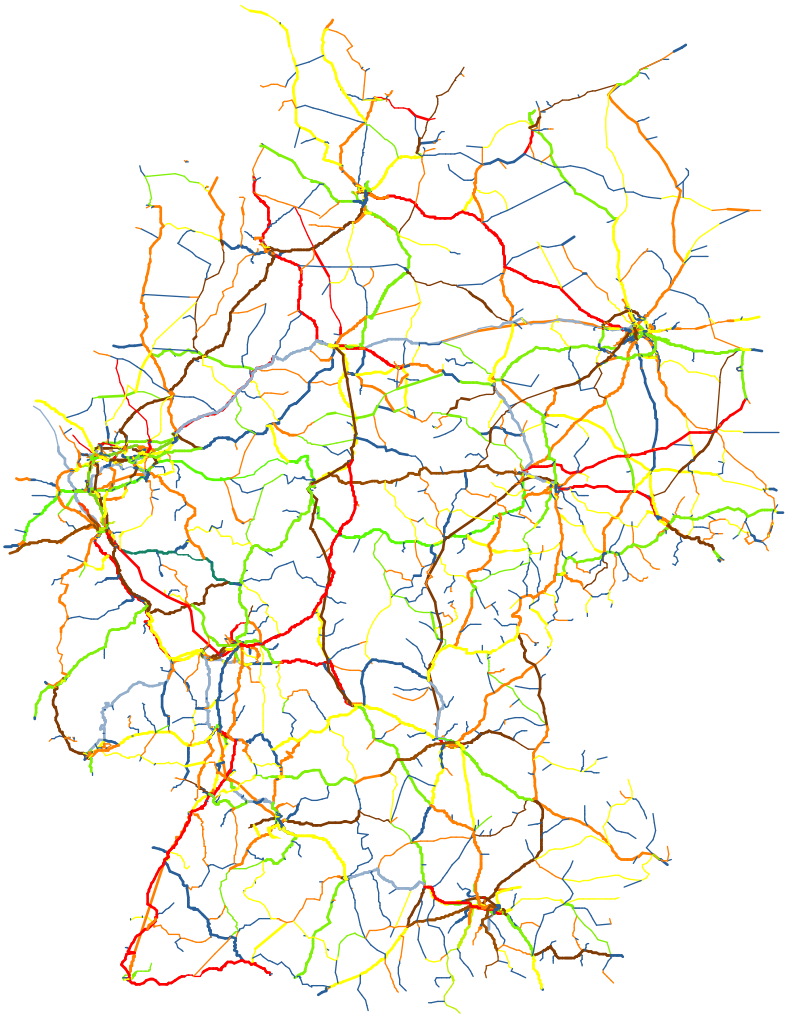


Abbildung 86: Kartenansicht im LUKS-N-Admin mit eingefärbten Strecken

Nach dem Import der Infrastrukturdaten kann die Infrastruktur in Betrachtungsräume aufgeteilt werden. Dies kann entweder über Schnittstellen geschehen oder interaktiv auf einer Kartendarstellung (Abbildung 86). Zusätzlich können für Infrastrukturausschnitte mikroskopische Ansichten erzeugt werden (Abbildung 87).

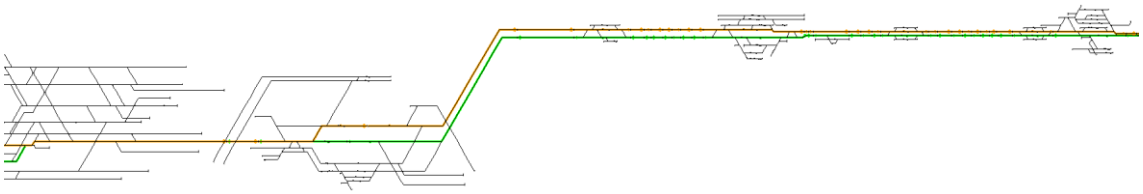


Abbildung 87: Mikroskopische Spurplanansicht mit Visualisierung der automatisch erkannten Streckengleise

Nachdem die Daten vom Bearbeiter erfasst wurden, erfolgen die restlichen Arbeitsschritte automatisiert: Für jeden Betrachtungsraum werden die relevanten Infrastruktur- und Zugdaten aus den Basisdaten herausgefiltert, Randwerte an den Grenzen des Betrachtungsraumes bestimmt, Modellzüge und Streckenmodellierung gebildet sowie zuletzt die Daten an den LUKS-N-Worker zur Berechnung übergeben.

Alternativ können die Streckenprojektdaten in separate Datenbanken im LUKS-Format exportiert und damit als Ausgangsbasis (sogenannte Null-Varianten) für manuelle EBWU verwendet werden. Dies reduziert den sonst notwendigen Aufbereitungsaufwand enorm.

Die berechneten Ergebnisse können anschließend tabellarisch oder auf der bekannten Kartendarstellung betrachtet werden (Abbildung 86). Heuristiken unterstützen den Anwender weiterhin bei der Erkennung unplausibler Ergebnisse.

4.3 LUKS-N-Worker

Der LUKS-N-Worker ist eine Hintergrundanwendung, welche die verschiedenen Analytik-Rechnungen durchführt. Der Worker selbst verfügt über keine eigene Oberfläche und bearbeitet jeweils genau ein Streckenobjekt. Die dazu notwendigen Projektdaten werden automatisch vom LUKS-N-Admin bereitgestellt, welcher weiterhin den Start und die Koordination einzelner Worker gewährleistet. Auf diese Weise können, abhängig von der verwendeten Hardware, eine Vielzahl von Berechnungen parallel erfolgen.

LUKS und der LUKS-N-Worker verwenden eine vereinheitlichte Code-Basis zur Sicherstellung von identischen Fahrzeit-, Belegungs- und Analytikrechnungen. Vom LUKS-N-Worker ermittelte Ergebnisse können dadurch jederzeit in LUKS detailliert geprüft und nachvollzogen werden.

5 Zusammenfassung

Als Ergebnis ermöglicht LUKS-N die netzweite Berechnung der mit den aufgeführten Hilfsmitteln effizient manipulierten Daten, so dass plausible und leicht verifizierbare Kapazitätsaussagen für ganz Deutschland innerhalb weniger Stunden möglich werden.

6 Literatur

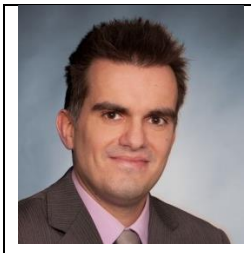
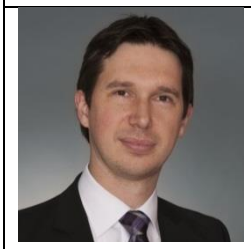
[1] M. Feil: *Strategisches Fahrplan- und Kapazitätsmanagement*. Deine Bahn, Nr. 11, pp. 33-27, 2014.

[2] C. Meirich, N. Nießen und Th. Schaer: *Ergebnisdokumentation bahnbetrieblicher Untersuchungen*. Deine Bahn, Nr. 11, pp. 55-59, 2014.

[3] A. Schüttert, B. Kogel, S. Kurby und N. Nießen: *Deutschlandweite Kapazitätsermittlung von Strecken und Knoten.* Proceedings of 1st International Railway Symposium Aachen (IRSA), 2017.

[4] 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.

[5] DB Netz AG: *Richtlinie 405 – Fahrwegkapazität*

	**Weymann, Frédéric**
	VIA Consulting & Development GmbH Römerstr. 50, 52064 Aachen f.weymann@via-con.de ++49 241 463662-33
	Kurby, Stephan
	DB Netz AG, Fahrwegkapazität und EBWU (I.NMF 34) Wiener Straße 4, 01069 Dresden stephan.kurby@deutschebahn.com ++49 351 461 8368
	**Janecek, David**
	VIA Consulting & Development GmbH Römerstr. 50, 52064 Aachen d.janecek@via-con.de ++49 241 463662-19