Planungsinstrumente für kapazitätsoptimierte Bau- und Instandhaltungsmaßnahmen im Bestandsnetz

Zur Sicherstellung der Anlagenverfügbarkeit des Schienennetzes sind Bau- und Instandhaltungsmaßnahmen kapazitätsschonend in den Betrieb zu integrieren. Bestehende Prozesse werden diesen Anforderungen angesichts zunehmender Maßnahmenzahlen und erschwerter Randbedingungen der Vereinbarkeit von Fahren und Bauen häufig nicht mehr gerecht. In dem Forschungsprojekt „Rahmenbedingungen, Prozesse und Planungswerkzeuge für kapazitätsoptimierte Bau- und Instandhaltungsmaßnahmen im Bestandsnetz" des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt (DZSF) werden vier Planungsinstrumente entwickelt, die den aktuellen Herausforderungen der Baustellenplanung begegnen und eine kapazitätsschonende Umsetzung von Bau- und Instandhaltungsmaßnahmen unterstützen.

1. Motivation

Ein leistungsfähiges Schienennetz ist zentrale Voraussetzung für zuverlässigen Eisenbahnverkehr. Erhalt und Weiterentwicklung des Netzes besitzen daher eine hohe gesamtwirtschaftliche Bedeutung. Bau- und Instandhaltungsmaßnahmen sind dafür unverzichtbar, führen jedoch regelmäßig zu Kapazitätseinschränkungen, die auf ein Minimum zu begrenzen sind. In der Praxis entstehen erhebliche Effizienzverluste durch unzureichend abgestimmte Sperrpausen, eine nicht optimale Bündelung von Maßnahmen sowie durch Diskrepanzen zwischen Verfügbarkeit von Personal, Material, Maschinen und finanziellen Mitteln. Teilweise werden Streckensperrungen angeordnet, obwohl die erforderlichen Ressourcen nicht bereitstehen. Gleichzeitig bleiben eingeplante Kapazitätsvorhaltungen im Fahrplan ungenutzt.

Vor diesem Hintergrund verfolgt das DZSF-Projekt das Ziel, bestehende Optimierungspotenziale systematisch zu er-

Dr.-Ing. Andreas Pfeifer
Oberingenieur
Verkehrswissenschaftliches Institut der RWTH Aachen (VIA)
pfeifer@via.rwth-aachen.de

Julian Döring, M. Sc.
Projektingenieur
albert.ing GmbH
j.doering@albert-ing.com

Fabian Schröter, M. Sc.
Projektingenieur
quattron GmbH
fabian.schroeter@quattron.com

Dipl.-Ing. Kerstin Büker
Projektingenieurin
quattron GmbH
kerstin.bueker@quattron.com

Dipl.-Math. oec. Axel Simroth
Referent Predictive Maintenance
Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung
SimrothA@dzsf.bund.de

Prof. Dr.-Ing. Denis Loskant
Professor für Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik an der FH Aachen
Loskant@fh-aachen.de

Tessa Marie Oberhoff, M. Sc.
Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Institut für Baumanagement, Digitales Bauen und Robotik im Bauwesen der RWTH Aachen (ICoM)
oberhoff@icom.rwth-aachen.de

Maren Maus, M. Sc.
Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Verkehrswissenschaftliches Institut der RWTH Aachen (VIA)
maus@via.rwth-aachen.de

Linnéa Kölsch, LL.M.
Referentin Recht
Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung
KoelschL@dzsf.bund.de

Autoren PDF zur Einbindung auf der Website www.quattron.com / Social Media - Kontakt & Rechte: archiv@dvvmedia.com DVV Media 2026

schließen. Dies soll durch die Implementierung verbesserter Abstimmungsprozesse, die Unterstützung bei der Bündelung von Maßnahmen sowie die gezielte Digitalisierung des Kapazitätsmanagements erreicht werden. Dabei werden sämtliche Abläufe, Rahmenbedingungen und beteiligte Akteure berücksichtigt.

Die im Projekt entwickelten Planungsinstrumente leisten einen Beitrag zu einer koordinierten und kapazitätsschonenden Planung sowie Durchführung von Bau- und Instandhaltungsmaßnahmen. Dadurch kann die Verfügbarkeit des Schienennetzes begünstigt werden.

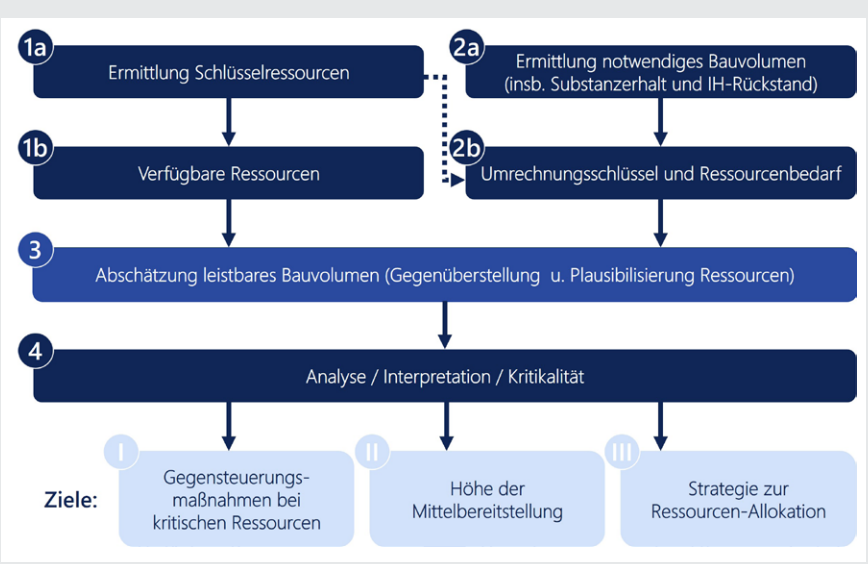
2. Methodisches Vorgehen

Die Entwicklung der in den nachfolgenden Abschnitten vorgestellten Planungsinstrumente basiert auf den zuvor dargestellten Erkenntnissen sowie einer Einbindung zahlreicher Stakeholder, Best Practices aus ausgewählten Referenzländern und weiteren Forschungsvorhaben der beteiligten Autoren. Hierbei wurden zunächst mögliche Planungsinstrumente skizziert, welche die identifizierten Herausforderungen im Baukapazitätsmanagement adressieren. Die potenziellen Planungsinstrumente umfassen sowohl Instrumente zur Vorbereitung, Koordination und Durchführung von Baumaßnahmen als auch Ansätze zur Planung und Steuerung des Bahnbetriebs unter Baubedingungen.

Anschließend wurden die entwickelten Ansätze anhand von Kriterien wie erwartetem Nutzen, Realisierbarkeit, Umsetzungsaufwand, Stakeholderbezug, Wirksamkeitsbereich sowie der Möglichkeit einer eigenständigen Bearbeitung im Projekt strukturiert bewertet. Auf dieser Grundlage wurden vier Planungsinstrumente zur vertieften Ausarbeitung ausgewählt. Für diese wurde eine detaillierte Methodik entwickelt, deren Ausgestaltung auf konkreten fachlichen und funktionalen Anforderungen beruht. Abschließend wurden die Ergebnisse in einem Stakeholder-Workshop validiert, angepasst und um wesentliche Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Implementierung ergänzt.

3. Abschätzung des leistbaren Bauvolumens

Ressourcenengpässe können dazu führen, dass Maßnahmen entweder nicht wie geplant oder nicht in angemessener Zeit realisiert werden können. Im Zentrum des Planungsinstrumentes steht deshalb die Abschätzung des leistbaren Bauvolumens mit einem mehrjährigen Vorlauf (vgl. Abbildung 1). Die Abschätzungsmethodik basiert bewusst auf einem grobgranularen Ansatz oberhalb der Ebene einzelner Projekte, um robuster gegenüber Unsicherheiten zu sein. Das Planungsinstrument ist damit auf einer strategischen Ebene mit einem mittel- bis langfristigen Vorschauhorizont angesiedelt und soll die Planungssicherheit erhöhen.



1: Konzeption des Planungsinstruments zur Abschätzung des leistbaren Bauvolumens

In der Abschätzung des leistbaren Bauvolumens sollen nicht alle für das Bauen notwendigen Ressourcen betrachtet werden, sondern nur eine Auswahl von für das Bauvolumen potenziell kritischer Schlüsselressourcen. Diese können unterschiedlicher Natur sein (z. B. Personal, Material, Maschinen, Fahrwegkapazität) und sind gemeinsam mit Fachleuten zu definieren (1a). Für diese Schlüsselressourcen sind anschließend die verfügbaren Ressourcen zu ermitteln bzw. bei den maßgeblichen Stakeholdern abzufragen (1b). Allein auf dieser Grundlage ist bereits eine Abschätzung des leistbaren Bauvolumens möglich. Wesentlich aussagekräftiger wird die Abschätzung jedoch, wenn eine Gegenüberstellung zum angestrebten Bauvolumen erfolgt. Aufgrund des hohen Instandhaltungsrückstands und der damit verbundenen Anzahl von Ad-hoc-Maßnahmen kann aktuell in einer mehrjährigen Perspektive kein ausreichend verlässliches angestrebtes Bauvolumen ermittelt werden. Bis dieser Zustand wieder erreicht ist, soll der Fokus bei der Gegenüberstellung auf der Ermittlung des notwendigen Bauvolumens insbesondere für den Substanzerhalt und das Aufholen des Instandhaltungsrückstands liegen (2a). Zur Ermittlung des Ressourcenbedarfs für das notwendige Bauvolumen werden entsprechende Umrechnungsschlüssel benötigt (2b).

Durch einen Abgleich der verfügbaren Ressourcen (Strang 1) und der notwendigen Ressourcen (Strang 2) wird das tatsächlich leistbare Bauvolumen abgeschätzt (3). Dabei soll auch eine Plausibilisierung der Zahlen anhand von in Vorjahren verbauten Mengen erfolgen. Zuletzt werden die Ergebnisse unter Berücksichtigung bereits absehbarer Trends und weiterer Einflussfaktoren in Szenarien analysiert (4). Auf Grundlage dieser Betrachtung kann eine qualitative Einschätzung zur tatsächlichen Kritikalität einer Schlüsselressource erfolgen. Dafür wird eine Ampellogik angewendet.

Durch die Bewertung der Kritikalität von Ressourcen verfolgt das Planungsinstrument insgesamt drei Ziele. (I) Werden Engpässe frühzeitig erkannt, besteht die Möglichkeit, gezielt Ressourcen aufzubauen und das leistbare Bauvolumen zu erhöhen. (II) Ist das leistbare Bauvolumen hinreichend genau abgeschätzt, können Investitionsmittel in der richtigen Höhe zur Verfügung gestellt werden und Preissteigerungen aufgrund eines Nachfrageüberhangs vermieden werden. (III) Zudem kann eine Strategie zur gezielten Ressourcenallokation erarbeitet werden, die festlegt, für welchen Zweck die verfügbaren Ressourcen eingesetzt werden und wie eine zeitliche und räumliche Verteilung aussieht.

Autoren PDF zur Einbindung auf der Website www.quattron.com / Social Media - Kontakt & Rechte: archiv@dvvmedia.com DVV Media 2026

2: Vorgehensweise im Planungsinstrument „Innovationsgremium“

4. Innovationsgremium

Vor dem Hintergrund des Modernisierungsdrucks sowie weiterer Herausforderungen im Kontext des Infrastrukturausbaus gewinnen Innovationen zunehmend an Bedeutung. Innovationen im Bahnwesen können aufgrund fragmentierter Zuständigkeiten, hoher Regulierungsanforderungen und unterschiedlicher Interessen der Akteure jedoch nur mit erheblichem Aufwand in die Praxis überführt werden. Das Planungsinstrument „Innovationsgremium“ zielt darauf ab, die Innovationsfähigkeit des Bahnsystems gezielt zu stärken. Hierfür schafft es einen organisatorischen Rahmen, in dem Innovationen von der ersten Idee bis hin zur möglichen Implementierung begleitet werden.

Die Entwicklung des Planungsinstruments erfolgt gemäß Abbildung 2 anhand eines mehrstufigen Vorgehens.

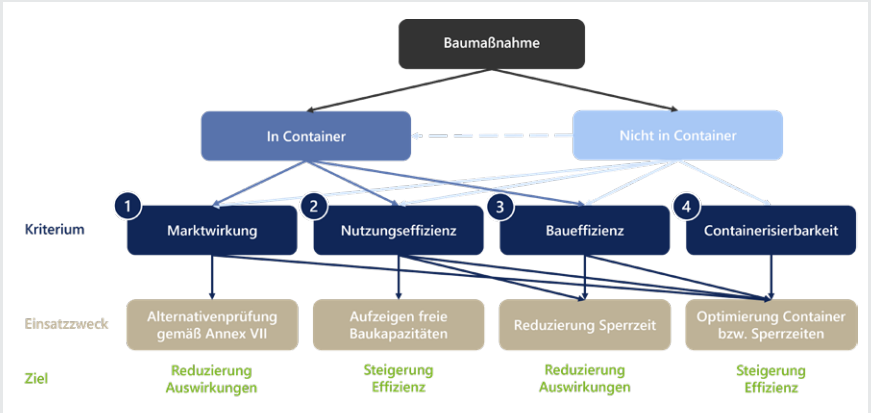
Im ersten Schritt werden Veröffentlichungen zu Innovationsmanagement, Organisationsstrukturen und Gremienarbeit ausgewertet, um Erfolgsfaktoren von Innovationsgremien zu identifizieren. Die Analyse zeigt insbesondere die Bedeutung einer interdisziplinären Besetzung, klar definierter Rollen, transparenter Entscheidungsprozesse sowie einer strukturierten Arbeitsweise.

Darauf aufbauend erfolgt die Analyse bestehender nationaler und internationaler Innovationsgremien aus den Bereichen Forschung, Mobilität und Bahninfrastruktur. Die identifizierten Beispiele werden anhand eines Bewertungsrasters hinsichtlich ihrer Zielsetzung, Besetzung, Arbeitsweise und Kommunikation untersucht, um deren Übertragbarkeit auf den Bahnsektor zu beurteilen. Aus den am besten bewerteten Gremien werden Best Practices für die Ausgestaltung des Planungsinstruments abgeleitet. Die Auswertung zeigt, dass erfolgreiche Innovationsgremien durch eine klare organisatorische Struktur, kurze Entscheidungswege, effektive Kommunikation sowie die Einbindung relevanter Akteure gekennzeichnet sind. Außerdem werden Innovationen häufig in themenspezifischen Arbeitsgruppen bearbeitet und durch iterative Arbeitsprozesse weiterentwickelt.

Auf Grundlage der identifizierten Erfolgsfaktoren und Best Practices wird eine Methodik für die Etablierung eines Innovationsgremiums entwickelt. Als Kernergebnis wird dazu eine Mustergeschäftsordnung erarbeitet. Nachfolgend wird beispielhaft ein Auszug aus der Geschäftsordnung erläutert, der den innovativen Charakter sowie die ergebnisorientierte Arbeitsweise des Gremiums widerspiegelt.

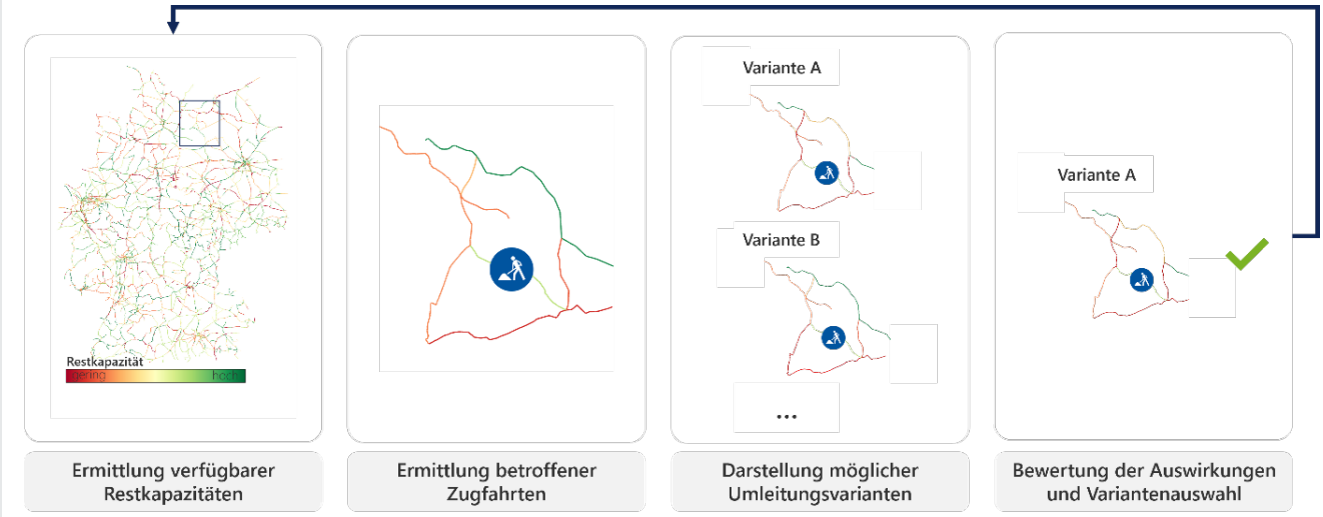
So beschreibt der Abschnitt „Arbeitsweise und Prozesskultur“ der Geschäftsordnung die operative Bearbeitung der Themen. Diese orientiert sich grundsätzlich an der Scrum-Logik und erfolgt in kurzen, iterativen Arbeitszyklen. Dadurch wird die Bearbeitung einzelner Themen strukturiert und nachvollziehbar geregelt.

Mit dem Planungsinstrument und der Mustergeschäftsordnung wird ein Rahmen bereitgestellt, der die systematische Identifikation, Bewertung und Umsetzung von Innovationen unterstützt und die Grundlage für die Arbeit eines zukünftigen Innovationsgremiums schafft.



3: Konzeption des Planungsinstruments zur multikriteriellen Optimierung der Bündelung

Autoren PDF zur Einbindung auf der Website www.quattron.com / Social Media - Kontakt & Rechte: archiv@dvvmedia.com DVV Media 2026



4: Vorgehensweise im Planungsinstrument „Restkapazitäten für Umleiterverkehre"

5. Multikriterielle Optimierung der Bündelung

Die Bündelung von Bau- und Instandhaltungsmaßnahmen stellt eine zentrale Strategie zur Steigerung von Effizienz und Wirtschaftlichkeit dar. Hinsichtlich einer Optimierung der Bündelung lassen sich zwei übergeordnete Ziele verfolgen: Zum einen kann die Effizienz gesteigert werden, indem Sperrzeiten besser ausgenutzt oder verkürzt werden. Zum anderen können die Auswirkungen auf den Betrieb minimiert werden. Zur Weiterentwicklung von Bündelungsansätzen wird eine multikriterielle Optimierung entlang von vier Kriterien vorgeschlagen (vgl. Abbildung 3). Dabei wird die derzeit bei der DB InfraGO AG eingeführte Containersystematik einbezogen.

Das Kriterium Marktwirkung (1) bewertet direkte betriebliche Zusatzkosten für Verkehrsunternehmen durch Verspätungen, Umleitungen und Ausfälle sowie deren indirekte sozioökonomische Effekte auf Reisende und Güter. Dies erfolgt anhand standardisierter Kostensätze für allgemeine Zuggattungen. Unter Einbezug der erwarteten Baukosten können wirtschaftlich vorteilhafte Planungsvarianten transparent ermittelt werden. Eine Anwendung ist bereits in der strategischen Planung möglich, ebenso in späteren Phasen auf Basis konkreter Fahrpläne.

Die Nutzungseffizienz (2) quantifiziert den Nutzungsgrad einer Sperrzeit, indem das Verhältnis aus angemeldeter Bauzeit je betroffener Gleislänge und der gesamten Sperrzeit je gesperrter Gleislänge gebildet wird. Ein Nutzungsgrad von 60 % bis 70 % gilt bereits als hoch, da dies einem Zweischichtbetrieb entspricht. Da bislang nur binär erfasst wird, ob eine Sperrzeit überhaupt genutzt wird, ermöglicht die Kennzahl erstmals ein differenziertes Monitoring und Benchmarking über Strecken und Regionen. Bei niedriger Nutzungseffizienz kann geprüft werden, ob räumliche oder zeitliche Anteile der Sperrung freigegeben oder mit weiteren Maßnahmen aufgefüllt werden können.

Das Kriterium Baueffizienz (3) erfasst das je Sperrzeit umgesetzte Bauvolumen. Ein standardisierter Anlagenkatalog zur Erfassung der einzelnen Bauvolumina sowie ein Kriterienkatalog zu Rahmenbedingungen (insbesondere Lage, Platzverhältnisse, Sperrart, Umweltvorgaben etc.) machen Bauprojekte untereinander vergleichbar. So entsteht eine Datenbasis für systematisches Benchmarking und die Identifikation von Best Practices.

Die Containerisierbarkeit (4) dokumentiert, weshalb Maßnahmen nicht in Containern abgewickelt werden konnten, etwa aufgrund der nicht passfähigen erforderlichen Sperrart, der räumlichen Ausdehnung oder technischer Randbedingungen. Die systematische Auswertung dieser Gründe liefert gezielte Hinweise zur Weiterentwicklung der Containersystematik und zu Innovationsbedarfen bei Bauverfahren.

Um die Bündelung zu optimieren, nimmt das Planungsinstrument also sowohl Effizienzpotenziale in der Bauausführung als auch betriebliche Auswirkungen in den Fokus. Die Methodik kann verschiedenen konkreten Einsatzzwecken dienen (vgl. Abbildung 3), etwa einem Variantenvergleich gemäß Annex VII der EU-Richtlinie 2012/34 oder der Verringerung des Sperrzeitbedarfs für bestimmte Maßnahmen.

6. Ermittlung von Restkapazitäten für Umleiterverkehre

Derzeit erfolgt die Ermittlung von Restkapazitäten überwiegend dezentral. Umleitungskonzepte werden vielfach regional und weitgehend manuell entwickelt, wodurch Wechselwirkungen mehrerer Baumaßnahmen entlang eines Zuglaufs nur eingeschränkt berücksichtigt werden können. Dies führt zu erhöhtem Koordinationsaufwand und kann inkonsistente Planungen sowie eine ineffiziente Nutzung verfügbarer Infrastrukturkapazitäten begünstigen.

Das entwickelte Planungsinstrument soll diese Zusammenhänge auflösen und eine integrierte Ermittlung von Restkapazitäten sowie eine darauf aufbauende Planung von Umleiterverkehren unter Berücksichtigung ihrer wechselseitigen Auswirkungen ermöglichen. Ziel ist es, baubedingte Kapazitätseinschränkungen netzweit konsistent zu bewerten und Umleitungskonzepte so aufeinander abzustimmen, dass Konflikte vermieden, Fahrzeitverlängerungen minimiert und vorhandene Kapazitätsreserven möglichst gleichmäßig genutzt werden.

Der Schwerpunkt der Methodik liegt auf der unterjährigen Baubetriebsplanung, in der der überwiegende Anteil aller Bau-

Autoren PDF zur Einbindung auf der Website www.quattron.com / Social Media - Kontakt & Rechte: archiv@dvvmedia.com DVV Media 2026

maßnahmen eingeplant wird. Gleichzeitig ist eine Anwendung in früheren Planungshorizonten grundsätzlich möglich, sofern geeignete Kapazitätsprognosen vorliegen.

Das Planungsinstrument umfasst vier grundsätzliche Schritte (vgl. Abbildung 4). Zunächst erfolgt unter Anwendung eisenbahnbetriebswissenschaftlicher Methoden die Ermittlung verfügbarer Restkapazitäten. Hierdurch wird aufgezeigt, welche Auslastungen netzweit bestehen und auf welchen Streckenabschnitten etwaige Restkapazitäten zur Verfügung stehen.

Nachfolgend werden jene Zugfahrten ermittelt, die durch die jeweilige zu planende Maßnahme unmittelbar oder mittelbar beeinflusst werden. Auf diese Weise kann festgestellt werden, welche Verkehre einer Umleitung bedürfen und bei welchen Fahrten Anpassungen im Betriebsablauf erforderlich sind.

Für die betroffenen Zugfahrten erfolgen eine systematische Ableitung und Aufbereitung alternativer Streckenführungen. Dabei werden jene Umleitungsoptionen aufgezeigt, die unter den gegebenen infrastrukturellen und betrieblichen Randbedingungen grundsätzlich realisierbar sind.

Die Bewertung der Auswirkungen und die eigentliche Variantenauswahl beinhalten schließlich die Prüfung der dargestellten Umleitungsoptionen anhand definierter Kriterien wie Kapazitätsverträglichkeit, Fahrzeitwirkung und Netzstabilität. Ziel ist die Auswahl der Variante, die aus Netzsicht einen möglichst günstigen Kompromiss zwischen betrieblichen Anforderungen und verfügbaren Kapazitäten darstellt. Der durch die Umleitungsvariante verursachte Kapazitätsverbrauch wird anschließend dynamisch in die Übersicht der verfügbaren Restkapazitäten eingespeist und der dargestellte Gesamtablauf beginnt für die nächste Baumaßnahme erneut.

Insgesamt zeigt das Konzept, dass eine gemeinsame, schrittweise und datenbasierte Betrachtung von Restkapazitäten und Umleiterverkehren eine robuste Grundlage für die baubedingte Kapazitäts- und Fahrplankoordination schafft.

7. Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse des Projekts belegen, dass eine nachhaltige Verbesserung der Planung von Bau- und Instandhaltungsmaßnahmen im Eisenbahnsektor eine Prozess- und Stakeholder-übergreifende Betrachtung erfordert. Auf Grundlage einer systematischen Analyse der bestehenden Rahmenbedingungen und Planungsprozesse wurden vier Planungsinstrumente entwickelt, die unterschiedliche Planungsphasen, Akteure und Zielsetzungen adressieren. Durch die Unterstützung verbesserter Abstimmungsprozesse, die systematische Bündelung von Maßnahmen sowie die gezielte Digitalisierung des Kapazitätsmanagements leisten sie einen Beitrag zu einer effizienteren und kapazitätsschonenden Planung und Umsetzung von Baumaßnahmen. Die Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Prozessen, Ressourcen und beteiligten Akteuren ermöglicht eine optimierte Nutzung der verfügbaren Netzkapazität und trägt zur nachhaltigen Sicherung der Verfügbarkeit des Schienennetzes bei. Für eine wirksame Überführung der entwickelten Instrumente in die Praxis sind im nächsten Schritt die Verantwortlichkeiten eindeutig zu definieren, geeignete Implementierungsstrategien zu entwickeln und der resultierende Forschungsbedarf systematisch zu adressieren.

DOI 10.61067/261034

Summary

Planning tools for capacity-optimised construction and maintenance measures on the existing rail network

To ensure the availability of the rail network, construction and maintenance measures must be integrated into operations in a way that minimises disruption to capacity. Given the increasing number of measures and the more challenging constraints involved in reconciling train operations with construction work, existing processes often no longer meet these requirements. As part of the research project 'Framework conditions, processes and planning tools for capacity-optimised construction and maintenance measures on the existing rail network' conducted by the German Centre for Rail Transport Research at the Federal Railway Authority (DZSF), four planning tools are being developed to address the current challenges of construction site planning and to support the implementation of construction and maintenance measures in a way that minimises disruption to capacity.

Autoren PDF zur Einbindung auf der Website www.quattron.com / Social Media - Kontakt & Rechte: archiv@dvvmedia.com DVV Media 2026