









mithilfe von Umrechnungsfaktoren für mehrkanalige Bediensysteme (vgl. [7]) ermittelt.

Als Qualitätsmaß wird hierbei die Leistungsfähigkeit genutzt, welche die maximale Anzahl von Fahrplantrassen beschreibt, die auf der betrachteten Eisenbahninfrastruktur unter Beachtung der unterstellten betrieblichen Infrastruktur, sicherungstechnischer Zusammenhänge sowie fahrdynamischer Einflüsse und des Betriebsprogramms ohne Konflikte im Untersuchungszeitraum eingeplant werden können. Dabei werden auftretende Stauerscheinungen, hier Konflikte, bei der Planung von Trassen und daraus resultierende Wartezeiten modelliert und mit dem bestimmten Grenzwert beschränkt. Die entsprechenden Infrastrukturmaßnahmen wie zusätzliche Wartepositionen oder Überwerfungsbauwerke werden in Abhängigkeit der ermittelten Leistungsfähigkeit bewertet.

Durch die geringe Rechenzeit und einfache Handhabung der Methoden lassen sich schnell Einschätzungen zur Leistungsfähigkeit von Eisenbahnknoten treffen und somit die Planungen von Infrastruktur in Knotenbereichen effektiv unterstützen. Dabei sind insbesondere die Unabhängigkeit von konkreten Fahrplänen, die einfache Untersuchung verschiedener Betriebsprogramme und die Einfachheit der Anwendung durch die Bereitstellung von fundierten Richtwerten für individuelle Anwendungsfälle hervorzuheben. Letztlich lassen sich somit konkrete Empfehlungen z.B. zur Notwendigkeit einer höhenfreien Gestaltung von Knoten ableiten.

### 3.2. Entwicklung einer optimierten Zielblockteilung im Bahnhofsbereich

Die Mindestzugfolgezeiten zwischen Zugfahrten auf einer Strecke werden in vielen Fällen durch die Blockteilung im Bereich von Überholbahnhöfen und von Knoten beeinflusst, sodass die Verwendung von ETCS Level 2 (ohne Signale) neue Gestaltungsmöglichkeiten eröffnet. Besonders bei Überholungen ist der Einfluss von Beschleunigungs- und Bremsphasen zu berücksichtigen, sodass eine optimierte und verdichtete Zielblockteilung in diesem Bereich der Reduzierung von Mindestzugfolgezeiten dienen kann. Als maßgebend erweist sich der Bremsvorgang vor einem Überholbahnhof. Zur Bestimmung der optimalen Blockteilung werden die für die Streckenstandards definierten repräsentativen Modellzüge verwendet. Es ergibt sich je möglichem Zugfolgefall und in Abhängigkeit der Geschwindigkeitspaarung von Strecke und Zweiggleis der Weiche eine individuelle Staffelung der Blocklängen, deren Länge sich bis zur Weiche des Überholbahnhofs stufenweise verringert. Den positiven Effekt dieser Verdichtung verdeutlicht Bild 5 beispielhaft.

Auf Grundlage der jeweils verkehrten Modellzüge wird jedem Streckenstandard die effektivste Zielblockteilung zugeordnet, sodass optimale Mindestzugfolgezeiten realisiert werden können. Bei der Umsetzung der Zielblockteilung muss jedoch berücksichtigt werden, dass diese durch äußere Randbedingungen (wie z.B. Schaltabschnittsgrenzen und Bahnübergänge) im konkreten Anwendungsfall eingeschränkt werden kann und der Nutzen daher ohne gewerkeübergreifende Optimierung der Infrastruktur nicht immer voll ausschöpfbar ist. [8]

### 4. Anwendung der Forschungsergebnisse bei der DB Netz AG

Die Forschungsergebnisse bilden die Grundlage für eine umfassende Weiterentwicklung der Richtlinie Streckenstandards. Insbesondere werden Knoten als Verknüpfungen von Eisenbahnstrecken und wesentliche Elemente für ein leistungsfähiges Eisenbahnnetz stärker in den Fokus gerückt und die Optimierungspotenziale unter ETCS verarbeitet. Darüber hinaus wird die Neuaufnahme der verschiedenen Leistungsklassen die Möglichkeiten einer anforderungsgerechten Planung von Benign an vereinfachen.

Durch die vorgenommene Überarbeitung der Streckenstandards, die Berücksichtigung von Resilienz- und Leistungsaspekten sowie die entwickelten Empfehlungen der Knotengestaltung wird angestrebt, eine langfristig effiziente und gegenüber den real auftretenden Auslastungsschwankungen robuste Infrastruktur zu schaffen.

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Projekt ID 2236/2 und die DB Netz AG.

#### Literatur

- [1] DB Netz AG: „Richtlinie 413.0301 „Streckenstandards“, Version 4.0, 1. Januar 2022.
- [2] Europäische Kommission: „Technische Spezifikationen für die Interoperabilität, Teilsystem Infrastruktur (TSI INF)“, Verordnung (EU) 2019/776, 16. Mai 2019.
- [3] Pfeifer, A., Kogel, B., Nießen, N., Berghaus, M., Kemper, D., Hilbrich, E.: „Berücksichtigung von Spitzenzeiträumen bei der Dimensionierung der Eisenbahninfrastruktur“, in: Deine Bahn 10/2021, S. 36-42.
- [4] Eisenbahngagentur der Europäischen Union (ERA): „Leitfaden zur Anwendung der TSI INF“, 14. Dezember 2015.
- [5] Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO), 1967.
- [6] Schwanhäuser, W. und Schultze, K.: „Ermittlung von Qualitätsmaßstäben für die Berechnung der Leistungsfähigkeit eines Streckenabschnittes und Entwicklung eines Rechenverfahrens zur Ermittlung von Endverspätungen“, Forschungsarbeit für die Deutsche Bundesbahn, 1982.
- [7] Fischer, K. und Hertel, G.: „Bedienungsprozesse im Transportwesen - Grundlagen und Anwendungen der Bedienungstheorie“, Transpress, 1990.
- [8] Hernández, L. und Hardel, S.: „Schaltabschnittsgrenzen und Bahnübergänge schränken den Kapazitätseffekt von ETCS Level 2 ein“, in: Signal + Draht 1-2/2023, S. 24-30.

#### Summary

#### Route standards – minimum elements for an efficient and resilient infrastructure

Strong traffic growth on the rail is expected for the years ahead. In order to manage this growth, the railway infrastructure has to be adequately dimensioned. This article shows recent research results by RWTH Aachen University on which basis the regulations for the dimensioning of the operational infrastructure at DB Netz AG has to be basically revised and adjusted to the new requirements.