

**Kapazitätsmanagement**

# Netzkapazität und Nutzungsregulierung

*Rbf Seddin aus der Luft*

**Yigit Fidansoy**, Produktmanager, Hacon Ingenieurgesellschaft mbH, Hannover

Dieser Beitrag gibt einen Überblick über den Geschäftskontext und die aktuellen Herausforderungen des Kapazitätsmanagements im Schienenverkehr, die Rolle der IT und die notwendigen Grundsätze, die erforderlich sind, um die angestrebten Werte und Visionen zu liefern, wobei der Schwerpunkt auf den aktuellen und künftigen Entwicklungen liegt.



Die Hauptaufgabe des Kapazitätsmanagements besteht darin, einen Fahrplan zu erstellen, der sicher (konfliktfrei), pünktlich (Verfügbarkeit von Fahrzeitereserven und Pufferzeiten), effizient (hohe Kapazitätsauslastung), wirtschaftlich (rentabel und wettbewerbsfähig) und nachhaltig (geringer Energieverbrauch) ist. Die Herausforderung besteht darin, die Kapazität unter Berücksichtigung der Bedürfnisse der verschiedenen Beteiligten und der Anforderungen an einen Fahrplan optimal zu verwalten.

## Geschäftskontext und Herausforderungen

Die Netzkapazität ist eine begrenzte und wertvolle Ressource. Sie ermöglicht den klimafreundlichen und sicheren Transport von Gütern und Personen, indem sie große und kleine Knotenpunkte effizient miteinander verbindet. Die Verkehrsnachfrage wird in den kommenden Jahren aufgrund der Globalisierung und des Wirtschaftswachstums steigen. Aktuelle Prognosen zufolge wird der Güterverkehr in den nächsten 10 Jahren um 20 Prozent und die Gesamtbevölkerung in den Ballungsräumen um 10 Prozent zunehmen.

Andererseits altern die bestehenden Eisenbahnnetze einschließlich der Fahrzeuge, sodass sie regelmäßig gewartet und modernisiert werden müssen. Diese Aktivitäten im Netz wirken sich direkt auf die verfügbare Kapazität aus, und daher sind Koordinierungsmaßnahmen zur Minimierung dieser Auswirkungen von entscheidender Bedeutung.

Im Allgemeinen wird die Netzkapazität durch drei Faktoren bestimmt:

1. Die Eisenbahninfrastruktur und ihre technischen Parameter, einschließlich vorübergehender Kapazitätsbeschränkungen
2. Die Zugmerkmale, einschließlich der fahrdynamischen Parameter bestimmter Fahrzeuge
3. Den Fahrplan

Die wichtigste Anforderung an das Kapazitätsmanagement ist die Fähigkeit, einen sicheren, pünktlichen und wirtschaftlichen Fahrplan zu erstellen. Zugleich muss ein effizienter und diskriminierungsfreier Zugang zum Schienennetz gewährleistet sein.

Der übliche Prozess der Planung spiegelt sich im Arbeitsablauf der Trassenbeantragung zwischen

Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) und Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) wider. Die Arbeitsabläufe sind abhängig von der Phase des Planungsprozesses und können z.B. zwischen Langfristplanung (LFP) und Kurzfristplanung (KFP) variieren. Heutzutage muss dieser Prozess mit vielen Herausforderungen fertig werden, die sich aus der Struktur der Branche ergeben, wie z.B. einer fragmentierten IT-Systemlandschaft, unzureichenden Mitteln für eine strukturierte Kommunikation, einem hohen Arbeitsaufwand für manuelle Prozesse sowie einem Mangel an Informationen über Absichten und Beschränkungen in Bezug auf Trassenanfragen, was zu einem Mangel an verfügbaren Daten (Qualität) führt.

Die Bewältigung dieser Herausforderungen ist für den internationalen Eisenbahnverkehr und Transport noch wichtiger. Die Einbeziehung mehrerer EIU mit unterschiedlichen Prozessen und Zeitvorgaben macht es schwierig, einen Fahrplan zu erstellen, der den oben genannten Anforderungen entspricht. Flexibilität je nach Kundenbedarf (EVU) in Bezug auf Zeitlinien und Zeiträume und die Stabilität des Kapazitätsangebots einschließlich frühzeitiger und transparenter Informationen über vorübergehende Kapazitätsbeschränkungen sind Schlüsselfaktoren.

## Die Rolle der IT im Kapazitätsmanagement

Eine effiziente Handhabung des Kapazitätsmanagement-Prozesses ist ein Schlüsselfaktor für die Bewältigung der oben genannten Herausforderungen, zur Verbesserung der Gesamtqualität und zur Reduzierung der Kosten. Nicht nur der Kapazitätsbedarf, sondern auch die Anzahl und Komplexität der Daten nimmt in der Branche zu. Die Optimierung der Kapazitätsauslastung erfordert eine Entscheidungsfindung auf der Grundlage von Informationen, die aus verschiedenen und separaten Systemen stammen.

Zur Verbesserung der Gesamteffizienz und der Qualität des Kapazitätsmanagements wird eine moderne, benutzerorientierte IT-Lösung auf dem neuesten Stand der Technik benötigt, da sie gesamtgesellschaftliche Planungsprozesse bietet. Es werden sechs Grundsätze für die Rolle der IT definiert, die für das Kapazitätsmanagement erforderlich ist (Abbildung 1).

Diese Grundsätze dienen als Grundlage für ein zentrales Fahrplanerstellungs- und Kapazitätsmanagementsystem, das auf den bereits weiter oben beschriebenen geschäftlichen Anforderungen und Herausforderungen basiert.

<b>Benutzerorientiertes Design</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Das System bietet eine hochsensible Benutzeroberfläche zur effizienten Unterstützung von Aufgaben</li> <li>Die tatsächlichen Bedürfnisse der Endbenutzer werden beim Entwicklungsprozess berücksichtigt</li> </ul>
<b>Automatisierung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Benutzer werden mit (halb-)automatisierten Funktionen unterstützt</li> <li>Die meisten Kernaufgaben sind automatisiert, einschließlich Streckenplanung, Laufzeitberechnung und Validierung</li> <li>Konflikte werden vom System erkannt und gelöst</li> </ul>
<b>Interoperabilität</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Das Kapazitätsmanagement arbeitet nahtlos mit Umsystemen zusammen</li> <li>Daten und Geschäftslogik sind über Standard-APIs verfügbar</li> <li>Auswirkungen auf das System werden während der Änderungen minimiert</li> </ul>
<b>Datenqualität</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hochpräzise Infrastrukturdaten ermöglichen den Aufbau eines digitalen Bildes des Schienennetzes</li> <li>Alle kapazitätsrelevanten Informationen sind verfügbar, einschließlich Engpässen und vorübergehenden Kapazitätsbeschränkungen</li> </ul>
<b>Modularisierung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Funktionale und logische Schichten sowie Datenschichten sind voneinander getrennt</li> <li>Das System ist auf Komponentenebene leicht zu warten</li> <li>Das System bietet die Flexibilität, neue Funktionen hinzuzufügen</li> <li>Das System unterstützt Hochverfügbarkeit</li> </ul>
<b>Standardisierung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>System unterstützt Industriestandards für den Datenaustausch                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Kapazitätsmanagement und Betrieb: TAF TAF</li> <li>Fahrplan-, Infrastruktur- und Fahrzeugdaten: railML</li> </ul> </li> <li>Das System unterstützt Industriestandardprozesse wie TTR</li> </ul>

Abbildung 1:  
6 Grundsätze für  
ein Kapazitäts-  
managementsystem  
Quelle: Haco

## Zukünftiges Kapazitätsmanagement und Innovationen

### Durchgängige Planung

Abbildung 2 zeigt die verschiedenen Planungshorizonte, beginnend mit der strategischen Planung und endend mit dem historisierten Zugbetrieb einschließlich des tatsächlichen Fahrplans. Die Grenzen zwischen diesen Phasen werden fließender. Bei der LFP werden einerseits die künftigen Investitionen und Veränderungen der Infrastruktur und Fahrzeuge und andererseits die Marktbedürfnisse als Verkehrsnachfrage berücksichtigt.

Ein wichtiger Parameter hierfür wird direkt von den EVU in Form von Kapazitätsbedarfsanmeldungen kommen. Diese definieren die künftige Verkehrsnachfrage in Bezug auf Angebot und Frequenz. Es ist von entscheidender Bedeutung, dass die IM diese Informationen fehlerfrei, einheitlich und elektronisch erhalten.

Abstellbahnhöfe, Wartungsdepots, Rangierbahnhöfe und andere Arten von Bahnhöfen werden in eine durchgängige Planung integriert, die auch die Streckenkapazität dieser Bahnhöfe berücksichtigt. Dazu gehört eine integrierte Planung der Zugbereitstellungsaktivitäten. Alle Netzzugangsleistungen werden in einem durchgängigen Prozess beantragt

und geplant (Zuglauf, Rangiervorgänge, Abstellkapazitäten; Sperrpausen).

Dies ermöglicht einen besseren Überblick für EVU und Depotbetreiber durch Einbeziehung, Validierung und Visualisierung der Abhängigkeiten zwischen den Zugläufen und den Zugbereitstellungsaktivitäten. Auswirkungen, die sich aus Änderungen oder neuen Kapazitätsanfragen ergeben, können rechtzeitig für die Optimierung der Kapazitätsauslastung erkannt und analysiert werden.

### Harmonisierte Prozesse

Harmonisierte Verfahren für den grenzüberschreitenden Schienenverkehr werden die Planung beschleunigen und den Betreibern verlässliche Zeitpläne bieten.

Der Prozess der Fahrplanumgestaltung (TTR) in Europa begründet die ersten Schritte in Richtung dieser Vision. Die Einführung eines durchgängigen Fahrplan-Lebenszyklus, beginnend mit einer Kapazitätsstrategie, gefolgt von einem Kapazitätsmodell und einer Partitionierung, bevor Zugtrassen für den Jahresfahrplan beantragt werden können, ermöglicht eine frühzeitige Erkennung von Kapazitätsengpässen und eine entsprechende Planung zur Erfüllung der Marktbedürfnisse.

Die Verfügbarkeit harmonisierter langfristiger Kapazitätspläne wird es den EIU ermöglichen, die großen Gleisstandhaltungs- und Modernisierungsmaßnahmen besser zu koordinieren und es den EVU ermöglichen, ihre Dienste entsprechend zu planen. Dadurch wird die Abstimmung zwischen den verschiedenen (internationalen) Interessengruppen transparenter und einfacher.

Die Harmonisierung wird sich auch auf einige Planungsregeln auswirken, z.B. auf die Priorisierung von Zugläufen. Einheitliche und allgemein gültige Regeln führen zu einem zuverlässigeren und vorausschauenden Zugbetrieb. Die marktorientierte Zuweisung von Kapazitäten wird den Harmonisierungsprozess beschleunigen, um die Verfügbarkeit hochwertiger Kapazität für die EVU zu gewährleisten (Abbildung 3). Da die Harmonisierung und Koordination bereits in einem sehr frühen Stadium, z.B. bei der Kapazitätsstrategie, beginnt, wird die ungenutzte Restkapazität auf ein Minimum reduziert.

Neben den Anpassungen des Fahrplangestaltungsprozesses wird es entscheidend sein, auch Standarddaten in Echtzeit auszutauschen, um die Koordination für alle Beteiligten einfacher und effizienter zu gestalten. Die Bedeutung zentralisierter IT-Systeme für die Unterstützung bei dieser Aufgabe wird zunehmen.

**Datenbasierter Ansatz**

Die Fahrplankonstruktion hat sich im Laufe der Zeit stark weiterentwickelt, und die Entwicklungen wurden ebenfalls durch die zur Verfügung stehende Technologie vorangetrieben. Während die Erstellung von Fahrplänen mit Papier und Stift eine hohe Stabilität bot, wird der Datenaustausch mit IT-Systemen, insbesondere mit den Kommunikationssystemen der Eisenbahnunternehmen, mehr Flexibilität und Transparenz bieten.

Darüber hinaus wurde es durch fortschrittlichere Technologien möglich, hochwertige betriebs- und fahrplanrelevante Daten in die IT-Systeme zu integrieren. Die Verfügbarkeit tagesgenauer Infrastrukturdaten auf

mikroskopischer Ebene ermöglicht die Optimierung der Kapazität durch die Konflikterkennung und die Berechnung der Zugfolgezeiten auf der Grundlage detaillierter Sicherungsinformationen.

Änderungen an der effektiven Infrastruktur können täglich aktualisiert werden, was eine flexiblere (Neu-) Planung der Fahrpläne ermöglicht. Betroffene Zugläufe können vom System automatisch erkannt werden, und die Planer werden dabei unterstützt, die besten Lösungsvorschläge zu ermitteln und umzusetzen. Dadurch wird ein gültiger Fahrplan zum Zeitpunkt der Abfahrt ermöglicht, indem die neuesten Informationen für den jeweiligen Verkehrstag abgeglichen werden.

Ein immerwährendes Infrastrukturmodell mit Gültigkeiten für jedes Element und der Möglichkeit, größere Änderungen festzulegen, wird eine Fahrplangestaltung ohne strenge Anpassungsfristen und -zeiträume ermöglichen. Eine Anpassung der Planung kann bei Bedarf vorgenommen werden.

Die Sichtbarkeit und Zugänglichkeit der Kapazitätsdaten wird den EVU mehr Verantwortung übertragen. Trassenanfragen können unter Berücksichtigung der tatsächlichen Kapazitätsbeschränkungen und -verfügbarkeiten auf bereits vorgefertigten Trassen basieren, wobei die EVU sogar auf Grundlage der EIU-Daten und -Systeme planen können.

Die Fahrplangestaltung wird ebenfalls von der Integration weiterer Datenquellen wie Echtzeit- und historischen Daten profitieren. Die unmittelbare Kurzfristplanung kann unter Berücksichtigung der aktuellen Zeitplanung und unter Ausnutzung der aktuellen Restkapazität erfolgen. Historische Daten werden eine wertvolle Quelle für Fahrplanstudien sein. Auf der Grundlage von Verspätungsverteilungen können frühere Störungen auf zukünftige Infrastrukturen simuliert werden, um die Stabilität künftiger Fahrpläne und Szenarien zu bewerten. Daher wird die sinnvolle Nutzung dieser Daten eine wichtige Rolle bei der Entscheidungsfindung spielen.



Abbildung 2:  
Lebenszyklus eines integrierten durchgängigen Fahrplans  
Quelle: Haco



Abbildung 3:  
Harmonisierte Prozesse  
helfen, ein Gleichgewicht  
zwischen der Markt-  
nachfrage und dem  
Schienennetz zu finden  
Quelle: Haco

**Automatisierung**

Die Eisenbahnunternehmen benötigen einen einfachen und schnellen Zugang zum Schienennetz. Die aktuellen Verfahren und Technologien zur Fahrplanerstellung sind der steigenden Nachfrage nicht gewachsen. Die Vorlaufzeiten für ein Trassenangebot müssen verkürzt werden, um den Anforderungen der Eisenbahnunternehmen gerecht zu werden.

Das digitale Kapazitätsmanagement (DCM) wird sich diesen Herausforderungen stellen. Es wird den Prozess der Trassenplanung und -vergabe durch Standardisierung, Automatisierung und Optimierung von Kapazitätseinheiten auf die nächsthöhere Ebene bringen. Planungs- und Dispositionssysteme/-organisationen können digital und ohne Zeitverzögerung miteinander kommunizieren und so nahtlose Angebote über Länder- und Organisationsgrenzen hinweg ermöglichen.

Schlussendlich wird eine Optimierung der Infrastrukturkapazität und der Nutzung der Anlagen ermöglicht. Dies wird zu folgenden Geschäftswerten führen:

- Höhere Kapazitätsauslastung ohne Infrastrukturinvestitionen
- Kürzere Fahrzeiten ohne Modernisierung der Infrastruktur
- Kürzere Vorlaufzeiten für die Kapazitätszuweisung ohne zusätzliches Personal

Die zunehmende Automatisierungs- und Optimierungsmöglichkeiten werden weitere Anwendungsfälle unterstützen, um noch komplexere Aufgaben abzudecken, z.B. die Suche nach vordefinierten und maßgeschneiderten Trassen, die Validierung von Trassenanfragen vor der Einreichung und die Suche nach Kapazitäten, einschließlich Wartungsarbeiten an der Infrastruktur. Darüber hinaus wird die IT-Planung der EIU zu einer Plattform für die EVU, die die EIU-Daten und deren Geschäftslogik nutzen, um Fahrpläne zu erstellen, die ohne eine zeitaufwendige Planung akzeptiert werden können.

Neue Technologien wie das maschinelle Lernen werden den Wandel von einem manuellen Prozess der Fahrplanerstellung zu einem automatisierten, schnellen und zuverlässigen Prozess führen und unterstützen. Dabei sind die wichtigsten Erfolgsfaktoren die Qualität der Daten und der Algorithmen, die sich mit den realen Problemen der Fahrplanerstellung befassen sollten.

**Organisation & Rollen**

Zugtrassen und Kapazitätszuweisung müssen sorgfältig geplant werden, um eine hohe Pünktlichkeit zu gewährleisten. Die Erstellung von Fahrplänen ist eine gewaltige Aufgabe von entscheidender Bedeutung. Planer\*innen prüfen ständig die Daten und verwalten die Fahrpläne unter sorgfältiger Berücksichtigung mehrerer Schlüsselfaktoren, um ein Optimum zu finden. Regeln und Richtlinien müssen angewandt und lokale Besonderheiten des Eisenbahnnetzes berücksichtigt werden. Und schließlich sind Erfahrungen und Ortskenntnisse nach wie vor ein Schlüsselfaktor für ein erfolgreiches Ergebnis.

Die Einarbeitung von Planer\*innen dauert mehrere Monate. Und es dauert sogar Jahre, um die für eine effiziente Arbeit erforderlichen Erfahrungen und Kenntnisse zu erwerben. Ein Hochschulabschluss ist nicht unbedingt erforderlich.

Die Anforderungen an den Beruf werden sich in Zukunft ändern, da sich die Prozesse und die Technologie weiterentwickeln. Die Planer\*innen übernehmen die Rolle von Kapazitätsmanagern und -spezialisten, die auf der Grundlage der vorhandenen Daten die Kundennachfrage mit der verfügbaren Auswahl an Kapazitätsprodukten abgleichen.

Da manuelle Aufgaben durch Automatisierung ersetzt werden, werden sich die Fachleute auf die Kalibrierung von Algorithmen und Entscheidungsunterstützungs-Funktionen konzentrieren. Erfahrungswissen wird elektronisch zur Verfügung gestellt und somit von den Teams gemeinsam genutzt, was weitere Vorteile und kürzere Einarbeitungszeiten mit sich bringt.

## Fazit

Bei der Zuweisung von Schienennetzkapazitäten muss ein optimales Gleichgewicht zwischen den Bedürfnissen des Güter- und des Personenverkehrs und den Anforderungen an die Instandhaltung der Infrastruktur gefunden werden. Die Komplexität des gesamten Prozesses und der Systeme stellt eine große Herausforderung dar, die es zu bewältigen gilt.

Eine moderne, auf dem neuesten Stand der Technik befindliche, benutzerorientierte IT-Lösung kann die notwendigen Fähigkeiten bieten, um diese Herausforderungen zu meistern und die Effizienz und Qualität des Fahrplanerstellungsprozesses und seiner Ergebnisse zu verbessern.

Die IT-Lösungen sollen dabei nicht nur die aktuellen, sondern auch die zukünftigen Anforderungen an das Kapazitätsmanagement berücksichtigen, einschließlich eines durchgängigen harmonisierten Planungsprozesses mit datengesteuerter Automatisierung. Die (künftigen) Nutzeranforderungen müssen bei der Konzeption und Entwicklung berücksichtigt werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mit den vorgeschlagenen Ansätzen die folgenden Geschäftswerte erzielt werden können:

- Steigerung der Prozesseffizienz durch Verringerung des Arbeitsaufwands (Minimierung der Kosten)
- Höhere Netzauslastung durch Optimierung der Kapazitätszuweisung (Maximierung der Kapazität)
- Höhere Stabilität des Produktionsprozesses durch moderne Architektur (Maximierung der Produktivität)
- Einführung neuer Dienste für EVU und andere Unternehmen im Zusammenhang mit der Kapazitätszuweisung

### Lesen Sie auch

#### **Intelligentes operatives Kapazitätsmanagement bei der DB Netz AG**

Deine Bahn 10/2022

#### **Kapazitätsmanagement im Einzelwagenverkehr der DB Cargo AG**

Deine Bahn 5/2021

Anzeige







TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



Institut für  
Bahnsysteme  
und Bahntechnik

# Eisenbahn- technologisches Kolloquium 2023

Einfach Fahren! –  
Kundenfokussierte Transformation  
im Spannungsfeld Kapazität,  
Pünktlichkeit und Bau

15. Juni 2023

Ideal für Senior-Experten  
und Führungskräfte

Weitere Informationen unter  
[www.verkehr.tu-darmstadt.de/symposien](http://www.verkehr.tu-darmstadt.de/symposien)

