



Optimierte Hafenbahnen

Die Bahn spielt eine zentrale Rolle bei der Hinterlandanbindung von Häfen, denn der Transport auf der Schiene ist besonders geeignet für große Gütermengen zwischen wichtigen Hubs, an denen die Logistik optimiert und die Effizienz gesteigert werden kann.

Zusätzlich ist der Schienenverkehr sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr in den letzten Jahren in den Fokus der Politik geraten. Dabei haben sich viele Länder mit der Verdoppelung des Transportvolumens oder des Modal-Splits weitreichende Ziele für den Schienengüterverkehr gesteckt. Für die wichtigen Häfen Europas heißt das, dass im Hafenhinterlandverkehr eine spürbare Verlagerung auf umweltfreundliche Verkehrsträger erzielt werden soll.

Richtige Investitionsentscheide

Diese Verlagerung liegt aber nicht oder nur zu einem geringen Maße in der Hand des Staates. Der Güterverkehr wird schon lange im Open Access durchgeführt: Die Kunden können Verloader und Verkehrsmittel frei wählen. Noch vor der Nachhaltigkeit spielen dabei vor allem die Kosten, die Zuverlässigkeit und die Transportzeit die entscheidenden Rollen. Das Schienensystem steht daher stets im Wettbewerb und muss zuallererst effiziente, zuverlässige und kostengünstige Lösungen anbieten. Voraussetzung dafür ist, dass die Infrastruktur heute und in der Zukunft gegenüber diesen Anforderungen angemessen dimensioniert ist. Dies wiederum bedingt, dass rechtzeitig die richtigen Investitionsentscheide getroffen und umgesetzt werden.

Die Planung und Erstellung der zukünftigen Bahninfrastruktur findet dabei in einem Spannungsfeld statt: Auf der einen Seite erfordert sie große Investitionen mit dementsprechend langen Planungs- und Realisierungszeiträumen. Auf der anderen Seite ist es sehr schwierig, die zukünftigen Entwicklungen und Bedürfnisse des Marktes vorherzusagen. So gab und gibt es getrieben von konjunkturellen Einflüssen von Jahr zu Jahr immer wieder starke Schwankungen im Transportvolumen. Es ist davon auszugehen, dass dieses kurzfristige Auf und Ab auch in Zukunft die Entwicklung beherrschen wird. Zahlreiche neue Technologien wie z. B. die digitale automatische Kupplung (DAK), batteriebetriebene Lokomotiven oder Automatic Train Operation (ATO) werden dabei Chancen für die Optimierung bieten, aber auch die Anzahl der möglichen Entwicklungen vervielfachen. Gleichzeitig braucht die Branche aber langfristige und verlässliche Planungen, um die richtigen Investitionsentscheidungen treffen zu können. Entscheidungen müssen daher häufig auf Basis von Annahmen getroffen werden.

Am Beispiel der Hafenbahnen in Antwerpen und Basel-Kleinhöningen liegt das Ziel darin, einen Lösungsansatz aufzuzeigen, wie Bahn- und Hafeninfrastrukturmanager in diesem Umfeld die bestmöglichen Investitionsentscheide treffen können. Die beiden Häfen spiegeln sehr gut das breite Spektrum von Hafenbahnen wider:

» Die Bahnanlagen im Hafen Antwerpen haben mehrere Auf-

gaben: Sie dienen nicht nur dem Umschlag von Gütern mit dem Schiffsverkehr und der Verteilung zwischen den Terminals im zweitgrößten Hafen Europas, sondern sie sind gleichzeitig der zentrale Rangierbahnhof Belgiens für den Schienengüterverkehr.

» Die Hafenbahn in Basel-Kleinhöningen dient der klassischen Bedienung von Verladeanlagen in einem Binnenhafen unter schwierigen städtebaulichen Bedingungen.

Stufengerechte Modellierung von Infrastruktur

Um im beschriebenen Spannungsfeld belastbare Aussagen treffen zu können, ist es erforderlich, in Szenarien zu denken. Damit können verschiedene Optionen getestet und verglichen sowie Risiken besser eingeschätzt werden. Durch die Verwendung von vorteilhaften und unvorteilhaften Szenarien wird eine Bandbreite realistischer Sichtweisen ermöglicht und die Planung auf ein stabiles Fundament gestellt.

Da die Szenarien langfristige Situationen abbilden, werden das Netz und der Betrieb der Hafenbahn in einem Modell abgebildet, um es handhabbar zu machen. Die größte Herausforderung bei der Modellierung eines komplexen Bahnsystems ist es, eine angemessene Präzisions-Stufe zu wählen.

» Mit einer *zu groben* Modellierung können entscheidende Elemente verloren gehen. Gleichzeitig ist der Aufwand zum Aufbau des Modells weniger hoch.

» Eine *zu feine* Modellierung mit einem hohen Detaillierungsgrad ist mit einem sehr hohen Arbeitsaufwand verbunden, um den Betrieb und die Infrastruktur zu erfassen. Dabei droht die Übersicht verloren zu gehen. Insbesondere bei großen und komplexen Anlagen wie der Hafenbahn Antwerpen ist dies ein entscheidender Punkt für eine effiziente Bearbeitung.

Eine geschickte, stufengerechte Präzision kombiniert die Vorteile beider Modellansätze: Erfassen der Details dort, wo sie für die Beantwortung der Fragestellung erforderlich sind; Vereinfachung dort, wo sie entbehrlich sind. Die gewählte Methodik setzt darum zu Beginn der jeweiligen Studie auf eine optimale Reduzierung der Praxis. Es ist in dieser Phase der Arbeiten von größter Bedeutung, mehrere Szenarien und verschiedene Annahmen makroskopisch zu testen. Dieses Vorgehen ermöglicht den gesamten, realistischen Lösungsraum zu erfassen. Zuerst wird daher das System grob aber umfassend modelliert, um die netzweiten Abhängigkeiten zu betrachten und die wichtigsten Engpässe identifizieren zu können.

Analysiert man, für welche Fragestellungen sich welche Modellstufen bewährt haben, so lassen sich drei typische Studienansätze ableiten (Abbildung 1):



- » *Makroskopische Kapazitätsanalysen*, die netzweite Abhängigkeiten analysieren, Engpässe identifizieren und Lösungsansätze entwickeln: Hier wird das Bahnnetzplanungstool Viriato eingesetzt. Dabei werden z.B. zusätzlich erforderliche Doppelspurabschnitte, Überholgleise oder Gleisverbindungen identifiziert.
- » *Mesoskopische Prozessanalysen* zur Bewertung der Leistungsfähigkeit von ausgewählten Netzteilen, Terminals und Rangieranlagen: Hierfür wird das Leistungsfähigkeitsmodell eingesetzt und damit zum Beispiel analysiert, wie hoch die Auslastung von Netzteilen ist, bei denen auf der Gleistopologie Engpässe zu beseitigen sind oder wie leistungsfähig die Anlage ist. Daraus kann z.B. abgeleitet werden, ob parallele infrastrukturelle Fahrwege oder wie viele Abstellgleise für Rangierlokomotiven erforderlich sind.
- » *Mikroskopische, dynamische Betriebssimulationen* werden schließlich nur dort durchgeführt, wo starke zeitliche Abhängigkeiten zwischen Prozessen relevant sind oder die Anlage auf detaillierter Ebene (zum Beispiel Signalstandorte) optimiert werden muss. Hier werden dynamische Bahnbetriebssimulationsmodelle genutzt, wie OpenTrack. Die Fragestellungen und Modellstufen bauen dabei modular aufeinander auf: Die makroskopischen Kapazitätsstudien

Aufbauend auf diesen beiden Arbeitsschritten können anschließend sehr effizient Sensitivitätsanalysen durchgeführt werden, bei denen der Einfluss zahlreicher Stell-schrauben getestet werden kann. Das Infrastrukturmodell der Hafenbahn ist so definiert und mit einem Betriebskonzept hinterlegt. Verschiedene Betriebskonzepte können so für die gesamte Hafenbahn getestet werden.

Im Hafen von Antwerpen wurden mit diesem Vorgehen Engpässe auf der Hafenbahn identifiziert. Der Begriff Engpass bezeichnet in diesem Zusammenhang einen Punkt im Bahnnetz, an dem gleichzeitig mehrere Züge fahren sollen. Bereits auf makroskopischem Niveau wurde klar, wie diese entschärft werden können oder welche Betriebskonzepte sie im schlimmsten Fall noch weiter verschärfen würden. Basis dafür war die Analyse des Betriebes, die auf einem repräsentativen Fahrplan für eine aggregierte Musterstunde basiert. Der so abstrahierte Betrieb lässt sich in Form von Netzgrafiken (Vergleich Abbildung 2) und Bildfahrplänen darstellen. Das ganze Netz der Hafenbahn wurde makroskopisch modelliert und die möglichen Entwicklungen der Verkehrsströme unter der Annahme der Verdopplung des Modal-Split beim Transport von Containern auf der Schiene getestet.

» Das Wachstum im Containerverkehr beruht auf einer starken Systematisierung mittels Blockzügen. Dies schafft wie-



SUT 2/2024 19

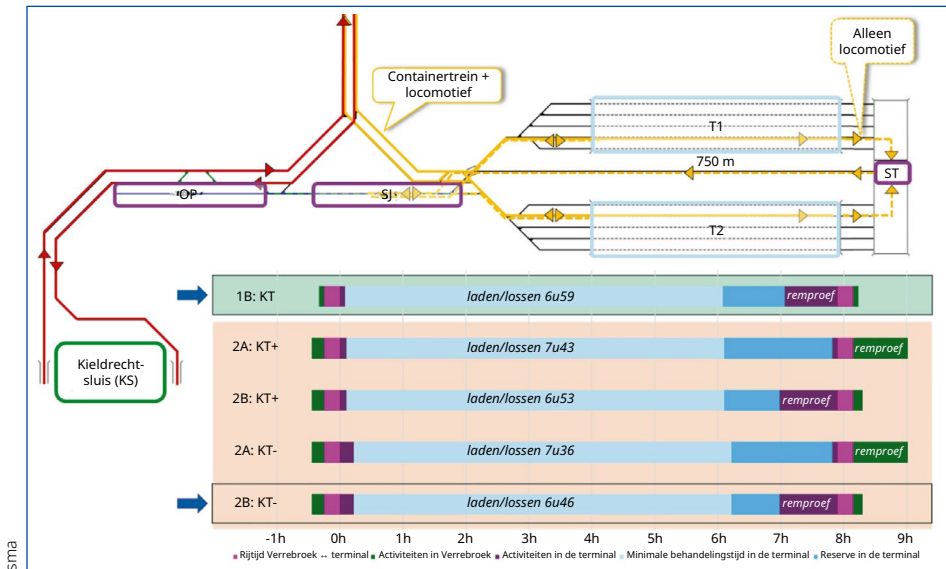


Abbildung 3: Das Leistungsfähigkeitsmodell ermöglicht eine schnelle Analyse von Funktionalitäten und deren Zusammenhang rund um ein Terminal. Diese ermöglicht nicht nur die Kapazität und dazugehörige Infrastruktur zu bestimmen, sondern auch den Level-of-Service mit Prozesszeiten realistisch zu definieren.

derum gute Voraussetzungen für die Optimierung der Netznutzung.

- » Die Kapazitätsstudie konnte die dafür erforderlichen, einzelnen Infrastrukturmaßnahmen identifizieren und nachweisen, dass mit einem geringen Investitionsvolumen das große Verkehrswachstum ermöglicht wird.
- » Dabei sind die vorgeschlagenen Infrastrukturmaßnahmen oft das Ergebnis der Suche nach einer Win-Win-Situation, bei der möglichst viele Stakeholder von einer Investition

Modernisierung von Betriebsanlagen steht die Effizienzsteigerung. Die historisch gewachsenen Rangierbahnhöfe werden tendenziell weniger genutzt. Stattdessen entstehen neue, hoch effiziente Containerterminals. Eine Redimensionierung der bestehenden Infrastruktur kann zu einer Senkung der Betriebskosten führen und so Mittel für die Entwicklung neuer Funktionen zur Verfügung stellen.

Für die Untersuchung wird zunächst eine detaillierte Prozessanalyse durchgeführt. Das Leistungsfähigkeitsmodell macht es möglich, mit einer stufengerechten Präzision die relevanten Prozesse abzubilden, aufeinander und mit der Infrastruktur abzustimmen, ohne dass eine aufwendige mikroskopische Betriebssimulation eingesetzt werden muss. Basierend auf Annahmen, wird ein Level-of-Service für jeden Prozess definiert (oft in Form eines pragmatischen Ziels für die Prozesszeit oder die gesamte Durchlaufzeit).

Das Leistungsfähigkeitsmodell wurde bereits mehrfach in unterschiedlichen Anwendungsfällen für Bahnanlagen wie Containerterminals, Güterbahnhöfe, Ablaufberge und Rollmaterial-Wartungszentren in verschiedenen Ländern erfolgreich eingesetzt. In allen Fällen konnte gezeigt werden, dass das Leistungsfähigkeitsmodell alle Informationen generiert, um die strategischen Entscheidungen zur Infrastruktur und zum Betrieb treffen zu können.

Bei der Hafenbahn Basel-Kleinhüningen konnten mit dem Leistungsfähigkeitsmodell Optimierungen der Gleispläne identifiziert

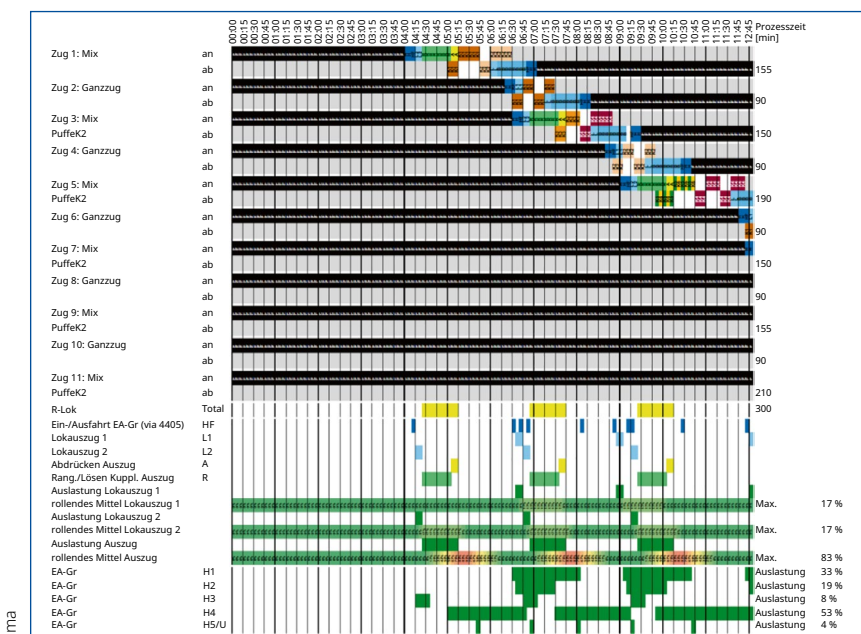


Abbildung 4: Modellierung einer Gleisanlage mit dem Leistungsfähigkeitsmodell im zentralisierten Bereich.

werden. Diese ermöglichen auch die effiziente Bewältigung von Szenarien mit deutlich höherem Verkehrsvolumen. Abbildung 4 zeigt einen Ausschnitt der Darstellung eines Leistungsfähigkeitsmodells. Im oberen Teil sind die Prozesse (Zugbewegungen, Rangierbewegungen, Bremsproben, Kuppeln, Entkuppeln etc.) abgebildet. Im unteren Teil ist die Nutzung und die Auslastung von Ressourcen dargestellt (Rangiermittel, Gleisgruppen oder Einzelgleise, Ablaufberg oder Einzelweichen etc.).

Die Gleisanlage konnte anhand des Leistungsfähigkeitsmodells im zentralisierten Bereich optimiert werden (Vergleich Abbildung 5): Die räumliche Trennung von Ganzzügen (in der Abbildung rot/braun) und Zügen mit Wagen für mehrere Hafenunternehmen (in der Abbildung grün/hellgrün), welche vor der Zustellung zuerst über den Ablaufberg sortiert werden müssen, ermöglicht einen Kapazitätssprung auf Grund der Vermeidung von sich kreuzenden Fahrwegen.

Stärkung der Markposition

Bei der Planung der zukünftigen Entwicklung von Hafenbahnanlagen kommt der Wahl der Modellierungsstufe eine entscheidende Rolle zu. Dies gilt umso mehr, als diese Entwicklung stets im Spannungsfeld zwischen kurzfristigen Markteinflüssen und langfristig zu treffenden Investitionsentscheiden stattfindet. Für die Identifizierung der optimalen Investitionen hat sich das Zusammenspiel von makroskopischen Kapazitätsanalysen sowie mesoskopischen Prozessanalysen bewährt. Während die makroskopischen Kapazitätsanalysen die netzweiten Abhängigkeiten analysieren, dienen die mesoskopischen Prozessanalysen der Bewertung von ausgewählten Netzteilen und Termi-

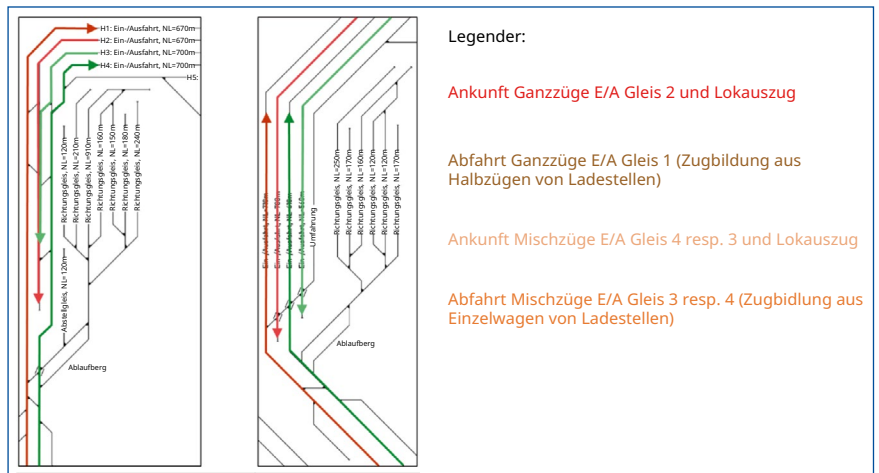


Abbildung 5: Beispiel einer Optimierung der Gleistopologie auf Basis des Leistungsfähigkeitsmodells.

nals. In Kombination mit der Betrachtung von allen relevanten Szenarien vermag dieser stufengerechte Ansatz im schwierigen Spannungsfeld zwischen langfristiger Investitionsplanung und wechselndem, kurzfristigem Marktgeschehen die bestmöglichen Investitionen zu identifizieren. Mit vertretbarem Aufwand können so zahlreiche Szenarien und Varianten ausgearbeitet und das System iterativ optimiert werden. Die Effizienz des Systems wird gesteigert und die Kosten von Infrastruktur und Betrieb werden reduziert, so dass das Bahnsystem seine Marktposition bei der Hafenhinterlandanbindung stärken kann. Bahninfrastruktur- und Terminalbetreiber verfügen damit über eine Methode, Entscheidungsgrundlagen strukturiert, nachvollziehbar und mit vertretbarem Aufwand zu ermitteln und darauf aufbauend eine konsistente, langfristig tragfähige Strategie erarbeiten zu können.

Warner Oldenziel, Raphael Karrer, SMA Partner AG

Anzeige

SMA – Consulting und Software
für die Eisenbahn

Unabhängig - unser höchster Wert
Erstklassig - unsere Leidenschaft
Nachhaltig - unsere Überzeugung

sma+ optimising railways

www.sma-partner.com