

Das Capacity & Traffic Management System für die Digitale Schiene

Ein Planungs- und Steuersystem für das Bahnsystem der Zukunft

MICHAEL KÜPPER

Die Sektorinitiative „Digitale Schiene Deutschland“ (DSD) arbeitet an einer weitreichenden Digitalisierung des Bahnsystems. Um insbesondere das Potenzial des hoch- und vollautomatisierten Fahrens und Digitaler Leit- und Sicherungstechnik auszuschöpfen, bedarf es eines einheitlichen, intelligenten Verkehrsmanagementsystems für die Planung und Steuerung des Bahnverkehrs. Der Beitrag beschreibt den angestrebten Umfang eines neuartigen, digitalen „Capacity & Traffic Management System“ (CTMS), seine Funktionalität sowie den aktuellen Stand der Entwicklung durch die DB Netz AG (DB Netz).

CTMS im Kontext der Digitalen Schiene

Die Sektorinitiative DSD nutzt konsequent die Chance der Digitalisierung, um Kapazität, Qua-

lität und Effizienz des Bahnsystems zu steigern. Viel Aufmerksamkeit seitens EU und Bundesregierung liegt dabei auf der Digitalisierung der Infrastruktur durch den Roll-out von Digitalen Stellwerken (DSTW) und European Train Control System (ETCS). Die DSD arbeitet darüber hinaus an einer weiterreichenden Digitalisierung des Bahnsystems. Grundidee dabei ist die vollständige Digitalisierung von Netzbetrieb und Fahrbetrieb [1]. Auf Basis einer ganzheitlichen, modellbasierten Architektur werden gemeinsam mit der Industrie Zukunftstechnologien entwickelt und erprobt. Hoch- und vollautomatisiertes Fahren [2, 3], eine zugzentrische Sicherungstechnik mit fahrzeuggebundener Lokalisierung, die Fahren im wandernden Raumabstand ermöglicht [4], sowie weitgehend automatisierte Störfall- und Diagnosesysteme werden in das Bahnsystem der Zukunft Einzug halten. Mit diesen Technologien sollen weitere Kapazitäts-, Qualitäts- und Effizienzpotenziale gehoben werden, die allein mit der Einführung von DSTW/ETCS nicht erzielbar wären.

Vor diesem Hintergrund hat die DSD im Jahr 2019 mit der Entwicklung des CTMS begonnen, dessen Umfang, Funktionsweise und beabsichtigte Wirkung im Folgenden näher beschrieben werden.

Umfang und Funktionalität des CTMS

Einführung

In einer derzeit noch hypothetischen, durchgehend digitalisierten Welt des Personen- und Gütertransports lägen alle relevanten Informationen in nahezu Echtzeit parat:

1. Verkehrsbedarf (von statistischen Verkehrsflüssen bis hin zu individuell bekannten Reise Wünschen)
2. Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln (über die verschiedenen Transportmoden hinweg, vom Fernzug über den ÖPNV bis zum Leihfahrrad)
3. Verfügbarkeit der jeweiligen Infrastrukturen (Gleise, Straßen etc.)

Zur Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln und Infrastrukturen gehört auch Information

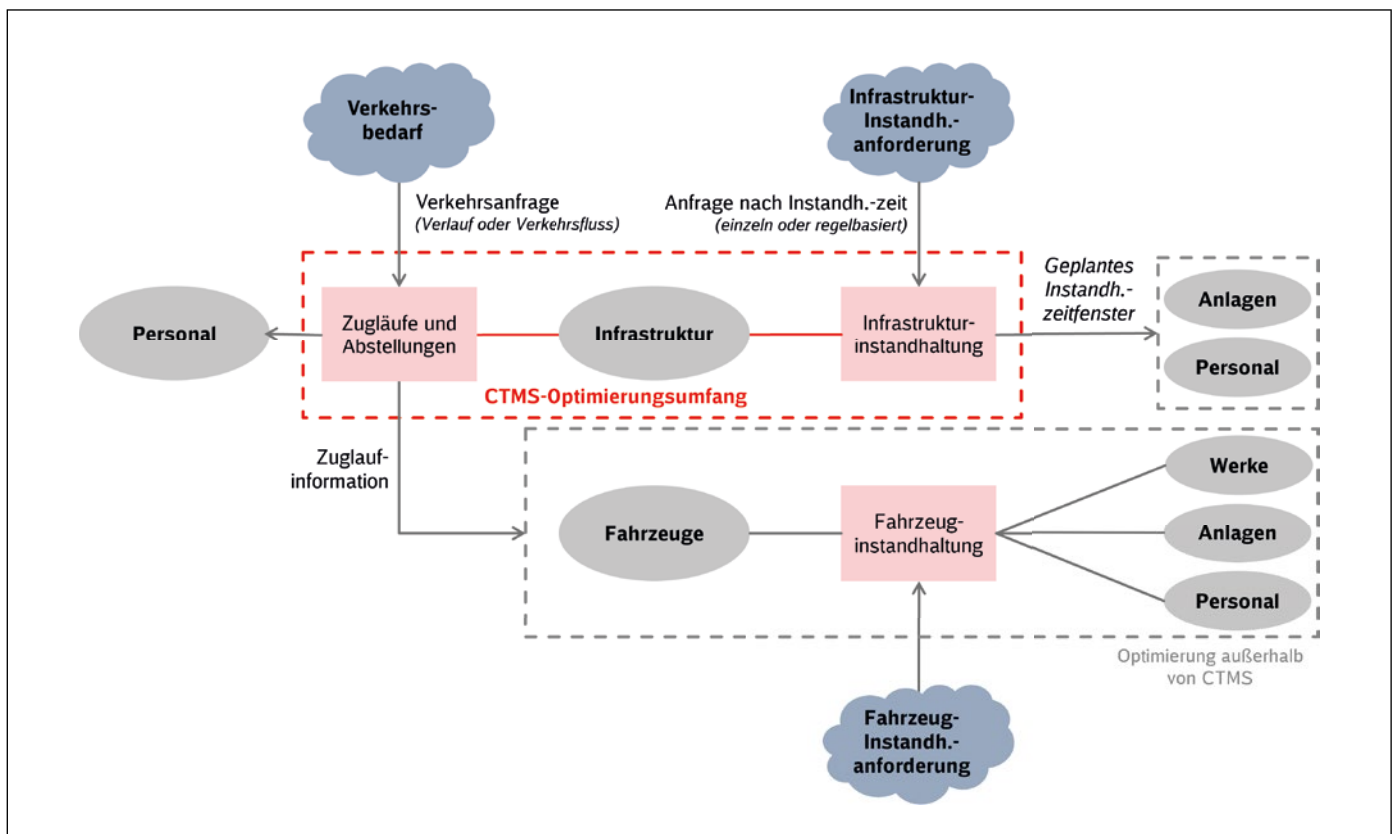


Abb. 1: Schematische Abgrenzung des Optimierungsumfangs des CTMS. Das bei DSD in Konzeption und Umsetzung befindliche System fokussiert sich auf die Kapazitätsvergabe der Gleisinfrastruktur des DB-Netzes.

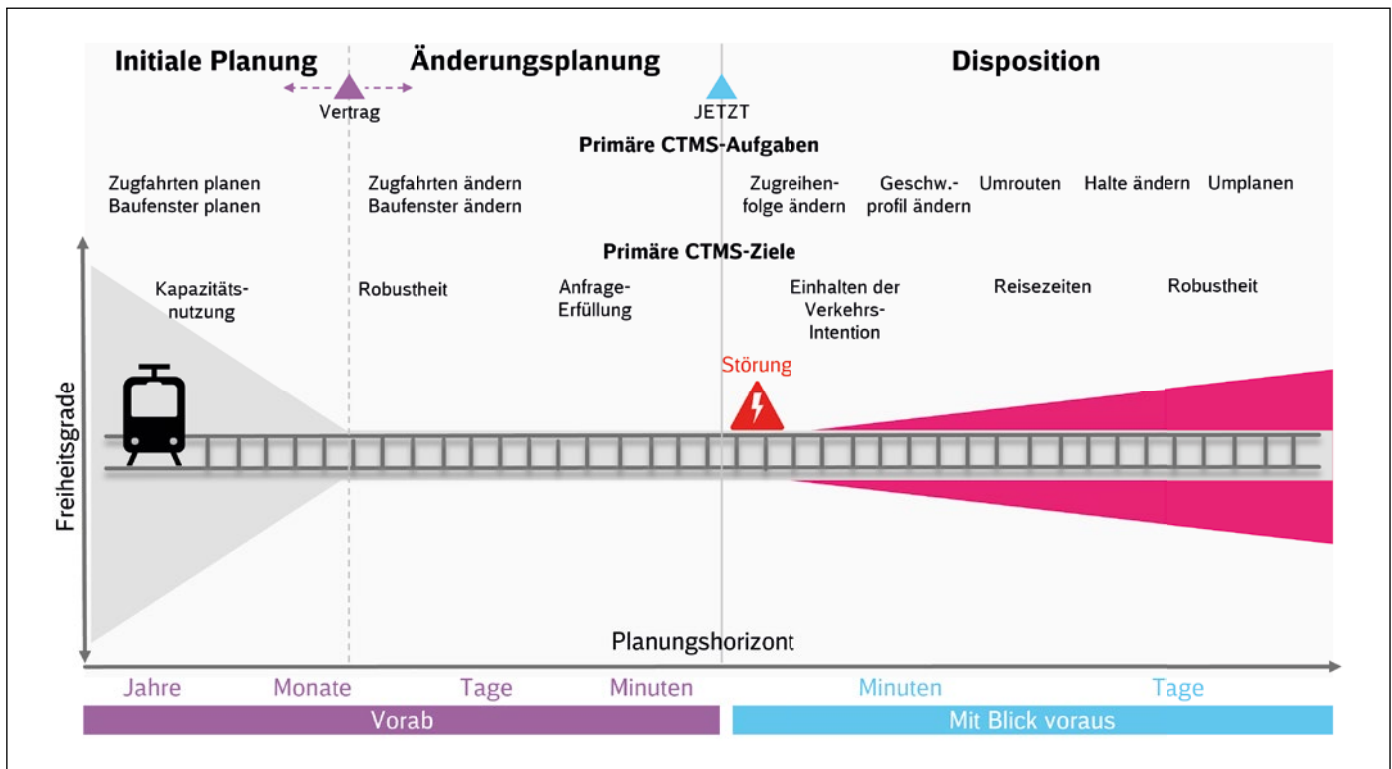


Abb. 2: Die Hauptfunktionen des CTMS im digitalisierten Bahnsystem. Sie umfassen Planung und Disposition / Steuerung von Zugfahrten und zeitlich eingegrenzten Baufenstern auf allen Zeithorizonten und mit Blick auf das Gesamtnetz.

über deren aktuellen Zustand sowie bekannte Einschränkungen durch (ggf. intelligent prognostizierten) Wartungs- und Instandhaltungsbedarf. Hinzu kommen Personal- und Anlagenplanung an verschiedenen Stellen des Systems, wie Fahrzeuge (Fz), Gleise, Bahnhöfe, Werke oder Baustellen. Dies wiederum zieht eine Kaskade an Möglichkeiten nach sich, die Verfügbarkeit von Betriebs- und Instandhaltungskapazitäten inklusive Personal und Anlagen in eine übergreifende Gesamtplanung mit einfließen zu lassen. Ein optimales System wäre dann beispielsweise in der Lage, Instandhalter für eine Zusatzschicht in einem bestimmten S-Bahn-Werk einzuteilen, weil es dank gemessener Zuschauerzahlen schon weiß, wie viele zusätzliche Busse und S-Bahnzüge zum Transport von Menschen z. B. nach einem Fußballspiel nötig werden. Das System weiß auch, dass einer der dafür verfügbaren Züge anschließend in die Reparatur muss, weil dessen Diagnosesensorik dem Bremssystem nur noch weitere 50 km Fahrt erlaubt.

Es wird schnell klar, dass die mathematischen und technischen Herausforderungen, auch nur Teile des Verkehrssystems maschinell derart zu optimieren, immens sind. Deutlich wird ebenfalls, dass die Hoheit über die dafür zu nutzenden Daten bei miteinander konkurrierenden oder regulatorisch getrennten Organisationen liegt. Die Verwirklichung einer solchen Zukunftsvision muss daher schrittweise und sehr fokussiert angegangen werden.

Aus diesen Gründen konzentriert sich das Team bei DSD auf ein CTMS, welches die Ka-

pazität des Schienennetzes der DB Netz zum zentralen Optimierungsgegenstand hat. Ziel ist, die Kapazität des Netzes optimal an dessen Nutzer zu vergeben (Abb. 1). Dabei wird Kapazität nicht nur von fahrenden Zügen verbraucht, sondern auch von abgestellten Fz sowie durch Baustellen und weitere Restriktionen der Netznutzung. Für all diese Kapazitätsverbraucher macht das CTMS mikroskopisch detaillierte Ablaufpläne in Zeit und Ort, und es setzt diese Ablaufpläne betrieblich um. Das CTMS kennt sowohl für die Zukunft prognostizierte als auch aktuelle Bedarfe und Zustände entlang der drei oben aufgeführten Dimensionen.

- Bedarf an Schienenpersonen- und Schienengüterverkehr: Dieser wird dem CTMS durch Fahrplananfragen, Verbindungsabhängigkeiten und Taktzeiten übermittelt. Ein weiterer Input ist der Bedarf an zeitlich eingegrenzten Restriktionen für Wartungs-, Instandhaltungs- und Baumaßnahmen am Netz.
- Verfügbarkeit von Schienenfahrzeugen: Jeder geplanten Fahrt muss rechtzeitig vor Abfahrt ein konkretes Fz zugeordnet werden, dessen Fahreigenschaften in Planung und Betriebssteuerung eingehen. Kurzfristige Änderungen der Fahreigenschaften, etwa durch Brems- oder Antriebsstörungen, erfährt das CTMS im laufenden Betrieb.
- Verfügbarkeit der Infrastruktur: Das CTMS kennt stets den aktuellen oder vorhergesagten Zustand der Schieneninfrastruktur hinsichtlich Befahrbarkeit und Sicherungslogik.

Diese umfassende Datenlage, verbunden mit der gewünschten Fähigkeit des CTMS, in kurzer Zeit konkrete Ablaufpläne zu erstellen – egal ob für die unmittelbare oder die weit entfernte Zukunft – macht das System zu einem Universalwerkzeug für alle der bislang aus Machbarkeitsgründen getrennten Zeitebenen der Fahr- und Bauplanung. Die bestehenden Systembrüche zwischen strategischer Planung, Fahrlagenberatung, Jahresfahrplanung, unterjähriger Fahrplanung, Produktionsplanung, Streckendisposition und Fahrstraßeneinstellung verschmelzen.

Freiheitsgrade und Zielfunktionen

Das System wird auf den unterschiedlichen Zeithorizonten mit sich ändernden Freiheitsgraden und Optimierungszielen arbeiten. Dies ist schematisch dargestellt in Abb. 2. So ist es etwa beim Aufbau eines Fahrplangerüsts für einen Zeitpunkt in mehreren Jahren unerheblich, zu welcher exakten Minute ein bestimmter Personenzug an einem Bahnhof abfährt. Wichtiger sind hier die zeitliche Taktung der Züge auf der gleichen Verbindung und die Umsteigezeiten zu anderen Verbindungen. Das CTMS hat somit in der längerfristigen Planung die Option, Zugfahrten und Baufenster im Rahmen großzügiger Freiheitsgrade zu verschieben. Das dient dem Ziel, in der langfristigen Planung möglichst viel Kapazität nutzbar zu machen und dabei trotzdem einen möglichst robusten Ablaufplan zu erstellen. Erst wenn ein Fahrplan verbindlich veröffentlicht oder ein Baufenster für Vertragsnehmer ver-

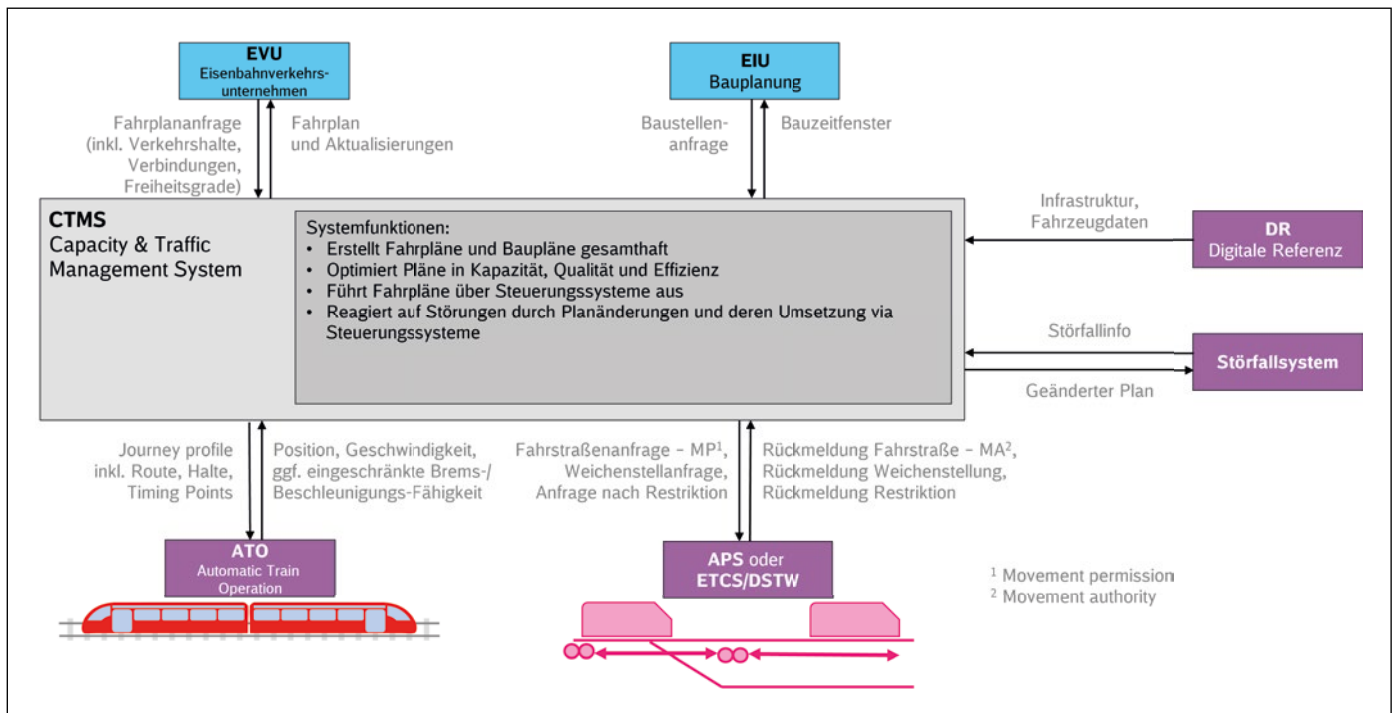


Abb. 3: Die funktional wichtigsten Schnittstellen des CTMS zu äußeren Akteuren (blau) und anderen DSD-Systemen (violett)

bindlich zugesagt wird, werden die Freiheitsgrade entsprechend eingeschränkt.

Anders gestaltet sich die Situation bei Planänderungen im laufenden Betrieb. Diese werden notwendig bei Störungen an Strecken oder Fz, bei Verzögerungen an Halten oder durch Aufsummieren kleiner Abweichungen im Betriebsablauf gegenüber dem Plan. In diesen Fällen ist das oberste Optimierungsziel des CTMS, die ursprüngliche Verkehrsintention zu erfüllen, soweit es die geänderte Situation zulässt. Falls das nicht möglich ist, sollen Reisezeiten über alle betroffenen Personen und Güter minimiert werden, wobei regulatorisch gewollte Prioritäten, etwa für Fernreisende, zu berücksichtigen sind. Die Robustheit des neuen Plans ist jetzt ein untergeordnetes Ziel, und Kapazitätsmaximierung wird nur noch implizit betrieben – in dem Sinne, dass die aktuell reduzierte Kapazität optimal und regelkonform auf die in Verkehr befindlichen Züge aufgeteilt wird.

Hierzu können den betroffenen Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) auch verkehrliche Maßnahmen vorgeschlagen werden, z. B. eine vorzeitige Wende, Ausfall oder Hinzufügen eines Halts oder der Ausfall einer ganzen Zugfahrt. Im ständigen Austausch zwischen dem CTMS und (bis dahin zu entwickelnden) automatisierten Dispositionssystemen auf EVU-Seite können solche Vorschläge dann recht kurzfristig prozessiert werden.

Die entscheidenden Vorteile gegenüber den bestehenden, hauptsächlich manuellen Prozessen der Betriebssteuerung sind die Rechengeschwindigkeit und die globale Sicht des CTMS. Bisherige Bestrebungen der Automatisierung in der Disposition konzentrieren sich auf die Unterstützung lokal agierender

Disponenten und Fahrdienstleiter und die IT-Abbildung der bestehenden Prozesse. Das CTMS soll die hergebrachte Logik der lokalen Konflikterkennung/Konfliktlösung ersetzen durch kontinuierliche Optimierung des Gesamtsystems. Dazu muss nicht erst ein Konflikt entstehen. Präventive Änderungen an der einen Stelle können den laufenden Betrieb an der anderen Stelle stabilisieren. Ungeplante Kapazitätsgewinne, beispielsweise durch einen ausgefallenen Zug, einen vor Plan fahrenden Güterzug oder eine vorzeitig beendete Instandhaltung, können im heutigen System meist nicht genutzt werden. Mit seinem globalen Blick und seiner Fähigkeit, in nahezu Echtzeit zu planen, wird das CTMS solche Lücken gezielt zur Entzerrung des Betriebs oder zum Abbau von Verspätungen nutzen.

Akteure und benachbarte Systeme

Hauptakteure am CTMS sind EVU- und EIU-seitige Planungs- oder Leitstellen, die Zugfahrten bzw. Baufenster anfragen und entsprechende Antworten erhalten. Da das CTMS nicht nur Pläne anfertigt, sondern auch umsetzen soll, ist es per Schnittstellen mit dem Sicherheitssystem der Infrastruktur und den auf der Infrastruktur registrierten Fz verbunden (Abb. 3). Die jeweiligen ATO (Automated Train Operation) der Fz werden vom CTMS mit sogenannten „Journey Profiles“ gespeist. Ein Journey Profile ist ein Satz von Koordinaten in Ort, Zeit und Geschwindigkeit, anhand derer eine ATO ihre Fahrkurve berechnen und abfahren kann. Diese Koordinaten können, je nach Notwendigkeit, mehr oder weniger engmaschig gesetzt sein. In der Rückrichtung stellen Fz dem CTMS zahlreiche Daten bereit, u. a. tatsächliche

Position und Geschwindigkeit sowie ggf. eingeschränkte Brems- und Beschleunigungsfähigkeiten.

Das Sicherungssystem der Infrastruktur erhält vom CTMS Anfragen zum Stellen und Sichern von Stellelementen sowie Anfragen nach Fahrwegfreigaben. Die Entscheidung über die Umsetzung dieser Anfragen, und damit die Sicherheitsverantwortung, liegt allein beim Sicherungssystem. Die Entscheidung erfolgt auf Basis fester Regeln der Sicherungslogik. Dabei handelt es sich beispielsweise um ein ETCS mit DSTW oder um das bei DSD in Konzeption befindliche „Advanced Protection System“ (APS), das auf Basis von Fahrzeuglokalisierung und Bremsweg ein Fahren im wandernden Raumabstand (Moving Block) erlauben wird. Das Sicherungssystem meldet dem CTMS entweder die Umsetzung seiner Anfrage oder deren Verweigerung mitsamt einer Begründung.

Sowohl CTMS als auch ATO und das Sicherungssystem beziehen ihre Information über die Infrastruktur aus einer gemeinsamen Quelle, dem „Digital Register“ (DR), das ebenfalls im Rahmen von DSD entwickelt wird. Darin sind Geometrie, Topologie, Gewichts- und Geschwindigkeitsgrenzen, Details der Stromversorgung und andere relevante Informationen verzeichnet. Das DR enthält auch einen Katalog individueller Fahrzeugparameter, die für das CTMS planungsrelevant sind. Dazu gehören unter anderem Länge, Gewicht, Höchstgeschwindigkeit und reguläre Beschleunigungs- und Bremsparameter.

Operative Pläne

Um seinem Optimierungsanspruch gerecht zu werden, muss das CTMS Fahrpläne auf der mi-

roskopischen Ebene erstellen, wo nötig auch mit detaillierten Vorgaben für Geschwindigkeitskurven. So sollen nicht nur der bestmögliche Verkehrsfluss durchgeplant, sondern auch Optimierungsgrößen wie Energieverbrauch, Anfahrstrom und Materialabnutzung berücksichtigt werden. Diese Pläne gehen inhaltlich weit über das hinaus, was heute als „Trasse“ bekannt ist. Sie enthalten unter anderem Journey Profiles, Pläne für zeitgerechte Anfragen an das Sicherungssystem, Zeitfenster für baubedingte Restriktionen und jeweilige Freiheitsgrade für nachgelagerte Optimierung. Einzelne Akteure und andere Subsysteme erhalten dabei stets nur den Teil der Information, der für ihre spezifische Funktion relevant ist. Bereits in der Langfristplanung wird ein solch detaillierter Ablaufplan erstellt, der in dieser Form betrieblich umgesetzt werden könnte.

So plant das CTMS Betriebsituationen in realistischer Weise – auch mit viel Vorlauf. Es kann auch verschiedene denkbare Szenarien durchspielen, um deren Auswirkungen zu analysieren. Planung auf sogenannten „gemittelten Infrastrukturen“ oder mit „Bauzuschlägen“ werden nicht mehr nötig. Stattdessen können Szenarien erzeugt und ausgewertet werden, etwa um den minimalen, maximalen oder wahrscheinlichsten Fahrplaneffekt einer noch

veränderlichen Baumaßnahme einzuplanen. Weit im Voraus läge damit ein exakter, umsetzbarer Ablaufplan vor, der sich möglicherweise später verbessern ließe. Ähnlich ließen sich verschiedene Verkehrskonzepte austesten und festlegen. Die heutige „Fahrlagenberatung“ verschmilzt mit der tatsächlichen Fahrplanung.

Aktueller Prototyp und geplanter betrieblicher Erstsatz

Die Entwicklung des CTMS bei DSD geschieht hoch iterativ nach Prinzipien der evolutionären Produktentwicklung. Der aktuell erreichte Prototyp plant bis zu 400 Zugfahrten (jedoch noch keine Baufenster) über mehrere Betriebsstunden auf mittelgroßen Netzkorridoren von rund tausend Streckenkilometern. Planungsbasis sind (imitierte) EVU-Anfragen nach Zugfahrten mit gegebenem Start, Ziel und Verkehrshalten (jeweils mit wählbaren zeitlichen Freiheitsgraden) sowie Gleispräferenzen in Bahnhöfen. Optimierungsziele sind kürzeste Wege und Einhaltung der zeitlichen EVU-Wünsche. Die erstellten Ablaufpläne sind mikroskopisch scharf und enthalten die notwendigen Anfragen nach Weichenstellung und Erteilung von Fahrfreigaben an das APS.

Die erstellten und nach Wunsch geänderten oder ergänzten Pläne werden in einer mikroskopisch scharfen Emulation umgesetzt. Im emulierten Live-Betrieb können dem CTMS-Prototypen Streckenstörungen mitgeteilt werden. Auf diese reagiert der Prototyp mit entsprechendem Umplanen der fahrenden und geplanten Züge. Hierbei wird die Gesamtsicht auf alle Züge berücksichtigt, egal ob sie direkt von einer Störung betroffen sind oder indirekt. Optimierungsziel im Störfall ist eine minimale Gesamtverspätung aller geplanten Züge gegenüber dem bisherigen Plan. Ein Beispiel für Störungsbehandlung durch Abändern des operativen Plans in Echtzeit ist in Abb. 4 dargestellt. Im gezeigten Szenario hatte ein KI-basierter (KI, Künstliche Intelligenz) Optimierer operative Pläne für 31 Züge (inkl. Verkehrshalten) in einem Zeitfenster von zwei Betriebsstunden im Netz des Knotens Magdeburg auf Basis von EVU-Anfragen erstellt. Im laufenden Betrieb (d.h. in der Emulation) wurde ein zweigleisiges Streckenstück beidseitig gesperrt. Ein ebenfalls KI-basierter Optimierer hat den noch zu fahrenden operativen Plan für die 31 Züge unter Berücksichtigung aller fernen Folgen innerhalb weniger Sekunden abgeändert und an die Emulation (Fz und APS) zur Ausführung



Systemlösungen für die Bahninfrastruktur

- Bahnübergangstechnik
- Achszähltechnik
- Stellwerks- und Rangiertechnik
- Weichenantrieb
- Signale
- Fördertechnik
- Weichenheizungen
- Diagnose

PINPROTEGIO
PINCLIRIO
PINMOVIO
PINMOVIO
PINLUXON
PINPOSITON
PINCALIO
PINDIAGON





Abb. 4: Der CTMS-Prototyp reagiert selbstständig auf einen gemeldeten Störfall (die rot markierten Gleise wurden gesperrt); links der ursprünglich auf Basis von EVU-Anfragen erzeugte Plan; rechts der im Betrieb abgeänderte Plan

sowie an das betroffene EVU zur Information gesendet. Dabei wurde eine Gesamtverspätung von ca. 4 Minuten gegenüber dem ursprünglichen Plan erzielt.

Die Pläne werden von einem oder mehreren Optimierungsmodulen erstellt, aus deren Lösungen automatisch die am besten geeignete ausgewählt wird. In den jeweiligen Optimierungsmodulen kommen verschiedene Technologien zum Einsatz. Die fortschrittlichste und leistungsfähigste der eingesetzten Technologien ist „Deep Reinforcement Learning“ (bestärkendes Lernen), ein Teilgebiet der KI. Parallel werden mathematische Optimierung aus dem Bereich des Operations Research (OR) sowie hybride Varianten eingesetzt, bei denen Elemente aus OR und KI kombiniert werden. Sämtliche Optimierungsarten werden von DB Netz entwickelt, mit Unterstützung industrieller und akademischer Partner, darunter seit Ende 2019 InstaDeep Ltd, ein Unternehmen, das führend bei der Entwicklung von KI-basierten Entscheidungsfindungssystemen ist.

Die hochkomplexen Optimierungsprobleme des CTMS sind mit klassischen mathematischen Methoden allein nicht annähernd schnell genug zu lösen, zumindest nicht bei einer größeren Zahl von Zügen auf größeren Netzen. Daher wurden bei DSD von Beginn an neueste Methoden der KI erprobt, auf das Bahnsystem übertragen und kontinuierlich weiterentwickelt. Mit den aktuellen KI-Modellen auf Basis des Deep Reinforcement Learning wird ein lediglich linearer Anstieg des Rechenaufwandes mit der Größe des Optimierungsproblems gemessen. Das ist eine wichtige Voraussetzung für die Skala-

lierbarkeit des Systems auf das Gesamtnetz. Bei konventionellen Methoden steigt der Rechenaufwand polynomial oder gar exponentiell an. Bereits bei einer Problemgröße von 35 Zügen haben die OR-Optimierer im CTMS-Prototypen mehr als die zehnfache Rechenzeit der KI-Optimierer. Mit der weiteren Skalierung vervielfacht sich der Zeitnachteil klassischer Optimierung.

Der Weg zum betrieblichen Einsatz des CTMS

Mit dem aktuellen CTMS-Prototypen hat DSD einen bedeutenden Schritt in Richtung automatisierter Planung und Betriebssteuerung gemacht. Am Beispiel eines kleinen Netzausschnitts werden grundlegende Funktionen des CTMS in mikroskopischer Simulation demonstriert. Die laufende Erweiterung des Prototyps durch DSD zielt sowohl auf erweiterte Funktionalität (inklusive der Abbildung von DSTW/ETCS-Sicherungslogiken) als auch auf größere Realitätsnähe der Fahrphysik (inklusive der Berücksichtigung von Steigungen/Gefälle und Wettereinflüssen).

Der erste betriebliche Einsatz des CTMS ist im Digitalen Knoten Stuttgart (DKS) geplant [5]. Dort soll das CTMS ab 2029 zunächst die erweiterte Stammstrecke der S-Bahn via ATO GoA 2 auf der Grundlage eines DSTW und mit ETCS Level 2 ohne Signale steuern. Anschließend wird der Steuerbereich des CTMS sukzessive ausgeweitet. Dabei kommen Regionalverkehr und Fernverkehr hinzu und zum Teil auch Güterverkehr. Parallel zum Ausbau von DSTW kann der CTMS-gesteuerte Bereich auf den gesamten DKS ausgedehnt werden.

Bereits zum Fahrplanwechsel 2025/2026 sollen für das CTMS benötigte Schnittstellen, u.a. zu ATO und dem Produktionsplansystem der Betriebszentrale, implementiert werden. Über diese wird ein „Übersetzer“ die ATO mit statischen Journey Profiles versorgen, bis das CTMS in Betrieb genommen wird. ■

QUELLEN

- [1] Biembacher, I.; Hundertmark, A.; Marsch, P.; Fiack, A.; Grell, A.; Spiegel, D.; Heimes, M.; Laux, T.: Blick in die Zukunft der Eisenbahn – Grundlagen des digitalen Bahnsystems, *EIK* 2023, S. 116-142 (https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/2022_12_Blick%20in%20die%20Zukunft%20der%20Eisenbahn%20E2%80%93%20Grundlagen%20des%20digitalen%20Bahnsystems.pdf, 08.08.2023 um 09:15)
- [2] Schröder, J.; Gonçalves Alpoim, C.; Dickgiesser, B.; Talg, M.: Digitale S-Bahn Hamburg, *EI* 10/2021, S. 44-47 (https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/44_47_EI_DSH_Schroeder_etal.pdf, 08.08.2023 um 09:15)
- [3] Hauswald, C.; Spiegel, D.; Kreyenberg, D.; Fiack, A.: Digitale Schiene Deutschland testet im Projekt Sensor4Rail erstmals sensorbasierte Wahrnehmungssysteme im Bahnbetrieb, *Deine Bahn* 4/2022, S. 36-43 (https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/deine-bahn_Sensors4Rail_2022-04.pdf, 08.08.2023 um 09:15)
- [4] Skowron, F.; Treydel, R.: Blöcke waren gestern – Chancen einer zugzentrischen LST, *EI* 11/2022, S. 34-37 (https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/34_39_Skowron_Treydel_neu.pdf, 08.08.2023 um 09:20)
- [5] Beyer, M.; Blateau, V.; Bitzer, F.; Dietrich, F.; Lammerskitten, C.; Lück, B.; Richter, R.; Rudolph, C.; Vogel, T.: Der Digitale Knoten Stuttgart wird Realität, *EI* 1/2023, S. 8-12 (<https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/202301%20Der%20Eisenbahningieur%20DKS-Sachstand.pdf>, 08.08.2023 um 09:20)



Dr. Michael Küpper

Systementwicklung
Echtzeit-Verkehrsmanagementsystem
DB Netz AG, Berlin
michael.m.kuepper@deutschebahn.com