

Zum verkehrlichen Nutzen der Digitalen Schiene Deutschland

Eine Studie belegt erstmals konkret die Wirkungen über DSTW, ETCS und Blockteilung hinausgehender Elemente des Digitalen Bahnsystems.

THORSTEN BÜKER | SIMON HELLER |
EIKE HENNIG | PETER REINHART |
FRÉDÉRIC WEYMANN

die Betriebsqualität. Im Übrigen bestehen einige Herausforderungen und Potenziale.

Nach einjähriger Bearbeitung liegen die Ergebnisse einer von VIA-Con/quattron im Auftrag der Digitalen Schiene Deutschland (DSD)/DB Netz AG durchgeführten Studie für einen Netzbereich im Raum Stuttgart und einem Vergleichsnetz im Raum Köln/Aachen vor. Aufbauend auf einen Nullfall mit Digitalen Stellwerken (DSTW), European Train Control System (ETCS) Level 2 „ohne Signale“ (L2oS) und optimierter Blockteilung wurden fünf weitgehend aufeinander aufbauende Szenarien gebildet und die Effekte für Kapazität und Betriebsqualität in eisenbahnbetriebswissenschaftlichen Untersuchungen (EBWU) herausgearbeitet. Soweit das Maximalszenario wie simuliert realisiert werden kann, können rund 15 % zusätzliche potenziell vermarktbarere Trassen erwartet werden – mit einem deutlich darüberhinausgehenden Effekt für

Motivation

Die DSD tritt an, das Eisenbahnsystem in Deutschland grundlegend zu verändern. Dem Zielbild der DSD [1] folgend, entstehen als Grundlage zunächst u. a. DSTW, ETCS Level 2 nebst dichter Blockteilung sowie hochautomatisiertes Fahren mit Triebfahrzeugführer (Automatic Train Operation Grade of Automation 2, ATO GoA 2 [2]). Auf diese Basis setzen in einer zweiten Phase weitere Elemente auf: darunter ein grundlegend neues Sicherungssystem mit zugorientierter Sicherungslogik (APS) [3] und das Kapazitäts- und Verkehrsmanagementsystem CTMS [4]. Die darauf abgestimmte DSD-Fahrzeugausrüstung umfasst neben ETCS und ATO GoA 2 beispielsweise auch Fahrzeugzustandsdaten (TCR) und eine Zugintegritätsüberwachung (TIMS). [5, 6, 7] Im Zusammenspiel lassen diese Systeme neue Möglichkeiten erwarten, Züge nicht nur dichter zu fahren, sondern den Betrieb anhand zahlreicher Da-

ten laufend und präzise zu optimieren und dies nahezu unmittelbar umzusetzen: in der Infrastruktur durch Ansteuerung der Feldelemente (über Stellwerk, zukünftig APS), auf Fahrzeugen (Fz) mittels auf dem Fz im ATO-Bordgerät berechneter Sollfahrkurven anhand von stetig aktualisierten Zeitvorgaben. Die Digitalisierung der Eisenbahn ist dabei kein Selbstzweck: Sie soll und muss sich am konkreten Nutzen für ihre Kunden messen lassen. Im Fokus steht dabei die Frage, ob und inwieweit tatsächlich mehr Züge auf bestehenden Gleisen gefahren werden können. Dabei kommen viele Diskussionen nicht wesentlich über Effekte der Blockteilung hinaus, während zahlreiche weitere Ansatzpunkte, wie beispielsweise in [8] umfassend dokumentiert, oft unberücksichtigt bleiben. Doch selbst bei umfassender Optimierung, beispielsweise im Hinblick auf ETCS-Bremskurven, Systemlaufzeiten und diverse Wechselwirkungen zur Infrastruktur, stößt zuweilen auch noch die Modellierung und Simulation an Grenzen. So war es bislang insbesondere nicht umfassend möglich, das vorausschauende, effiziente Fahren im

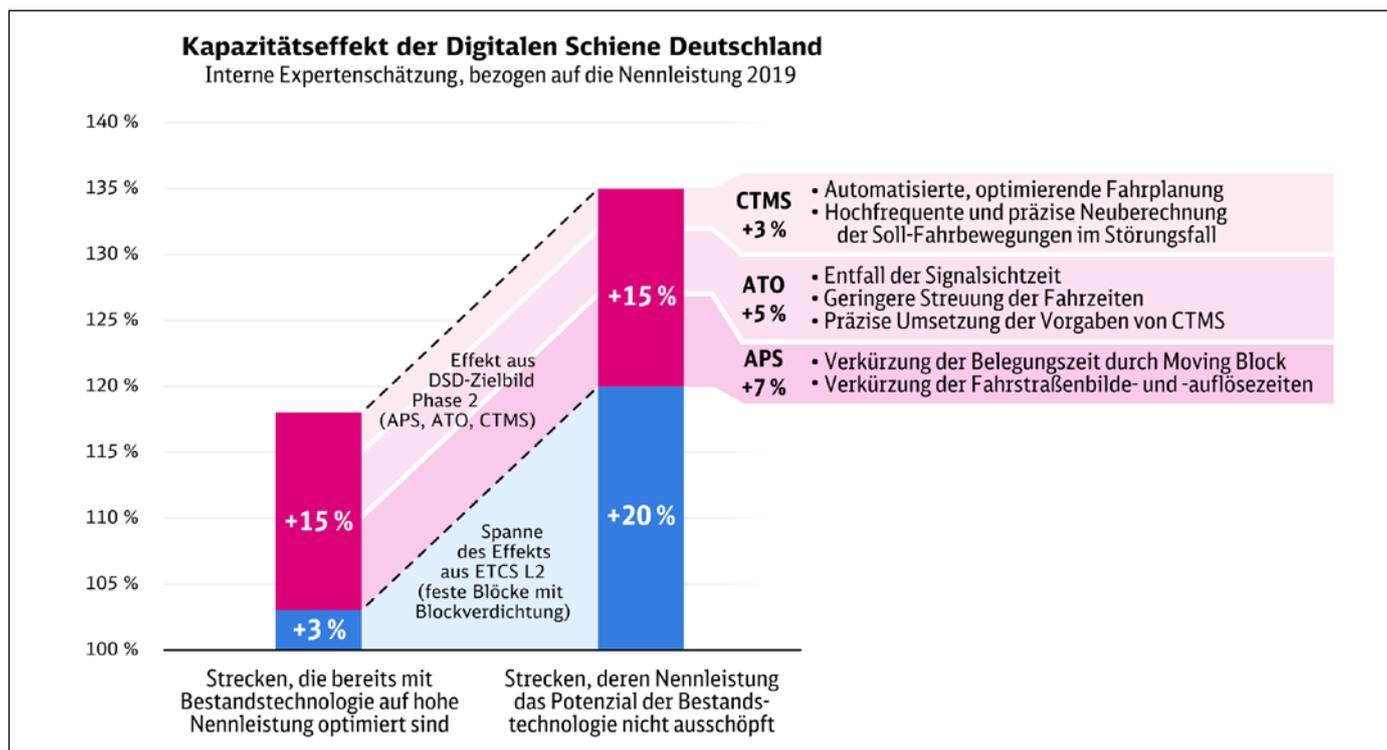


Abb. 1: Erste qualitative Expertenschätzung von Kapazitätseffekten des Digitalen Bahnsystems (2019)

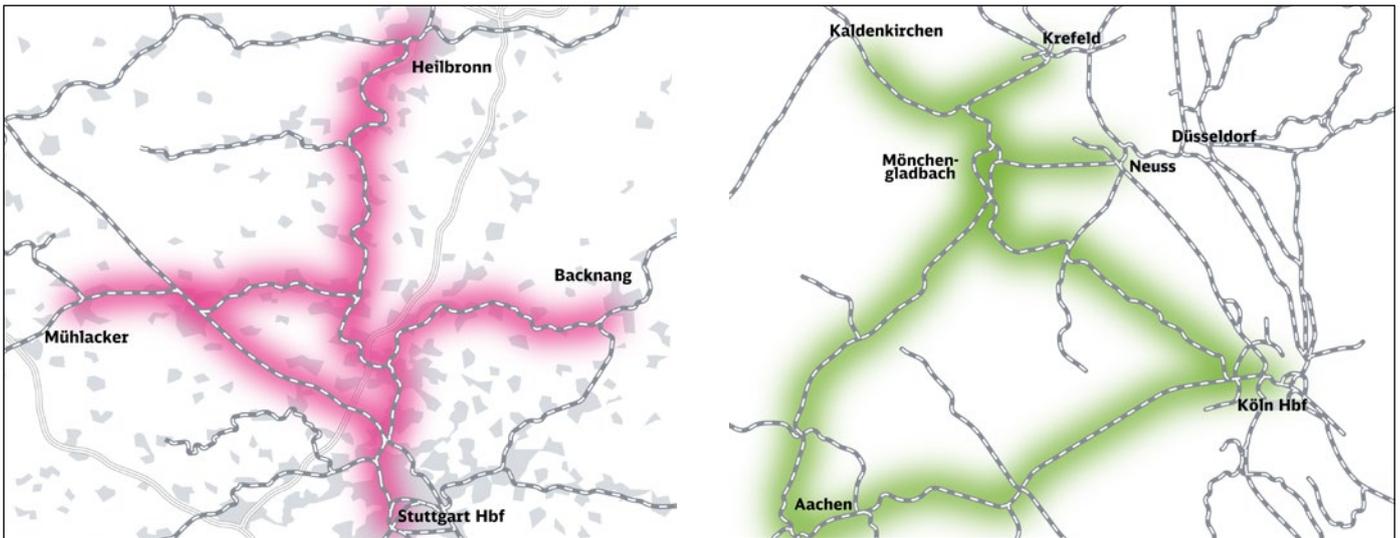


Abb. 2: Referenznetz (links) und Kontrollnetz (rechts)

Zusammenspiel von (C)TMS und ATO GoA 2 adäquat zu simulieren: In Simulationen wie beispielsweise [9] erfolgte eine Disposition auf Basis von lokalen Einzelentscheidungen, und ATO GoA 2 wurde im Wesentlichen als Fahren mit späteren Bremsensatzpunkten abgebildet. Der Nutzen gerade dieser Systeme konnte insofern bislang zwar abgeschätzt (Abb. 1) und qualitativ beschrieben, aber nicht quantitativ belegt werden. Mit dem von VIA-Con entwickelten und in LUKS implementierten OptDis-Verfahren [10] ist es seit 2022 erstmals möglich, auch ein Verkehrsmanagementsystem wie Capacity & Traffic Management System (CTMS) zu approximieren, das den Zugverkehr über alle Züge hinweg vorausschauend optimiert und disponiert. Die DB Netz AG hat im Jahr 2022 VIA-Con/quattron mit einer entsprechenden Untersuchung beauftragt.

Grundlagen und Methodik

Die Untersuchung fokussierte auf den in Abb. 2 links dargestellten Bereich im nördlichen Zulauf auf den Hauptbahnhof (Hbf) und die Stammstrecke in Stuttgart; etwa die Hälfte dessen ist auch Teil des Digitalen Knotens Stuttgart (DKS). [11] Der Bereich wurde gewählt, um ein möglichst repräsentatives Ergebnis zu erhalten: beispielsweise mit Blick auf heterogene Verkehre (Güterverkehr bis schneller Fernverkehr), aber auch verschiedene niveaugleiche Verzweigungen, bei denen sich die erwarteten Effekte vorausschauender Disposition und präziser Zuglaufregelung besonders manifestieren sollten. Da die Ergebnisse wesentlich für den Nutznachweis von DSD-Fahrzeug- und -Infrastrukturausrüstung im DKS benötigt werden, wurde die Untersuchung auch weitgehend aus Mitteln des

Pilotprojekts finanziert. Das in Abb. 2 rechts dargestellte Kontrollnetz wurde von VIA-Con bereits für verschiedene Untersuchungen herangezogen und sicherte die im Referenznetz gewonnenen Erkenntnisse im Hinblick auf ihre Übertragbarkeit auf das übrige Netz der DB ab. Für Fragestellungen der Disposition bietet sich das Kontrollnetz aufgrund der hohen Anzahl niveaugleicher Kreuzungen an. Mit Ausnahme des engeren Zulaufs auf den Hbf in Stuttgart, für den bereits eine optimierte Blockteilung vorlag [12], wurde eine Blockteilung in Anlehnung an [13] (grundsätzlich 500 m im hochausgelasteten Netz, in Knotenbereichen auch dichter) teilautomatisiert entwickelt und wurden dabei einschlägige Restriktionen an Bahnübergängen und elektrischen Schaltabschnittsgrenzen berücksichtigt. Für alle Züge wurde eine vollwertige

	Disposition	ETCS	Blockteilung	ATO	Verhalten ATO
Referenz	Manuell	Level 2 mit Blockverdichtung nach Anwehderhinweisen	Elektrische Streckentrennung und BÜ verhindern ideale Blockteilung	GoA0	Annahme, dass nächste Fahrerlaubnis nicht zeitnah erteilt wird
I				Konfliktlösung per linearer Optimierung	
II					
III					
IV	Level 3	+Moving Block	Vorausschauendes Fahren bis dicht unter die EBI, wenn möglich		
V					

Abb. 3: Überblick über die Szenarien und ihre Ausprägungen

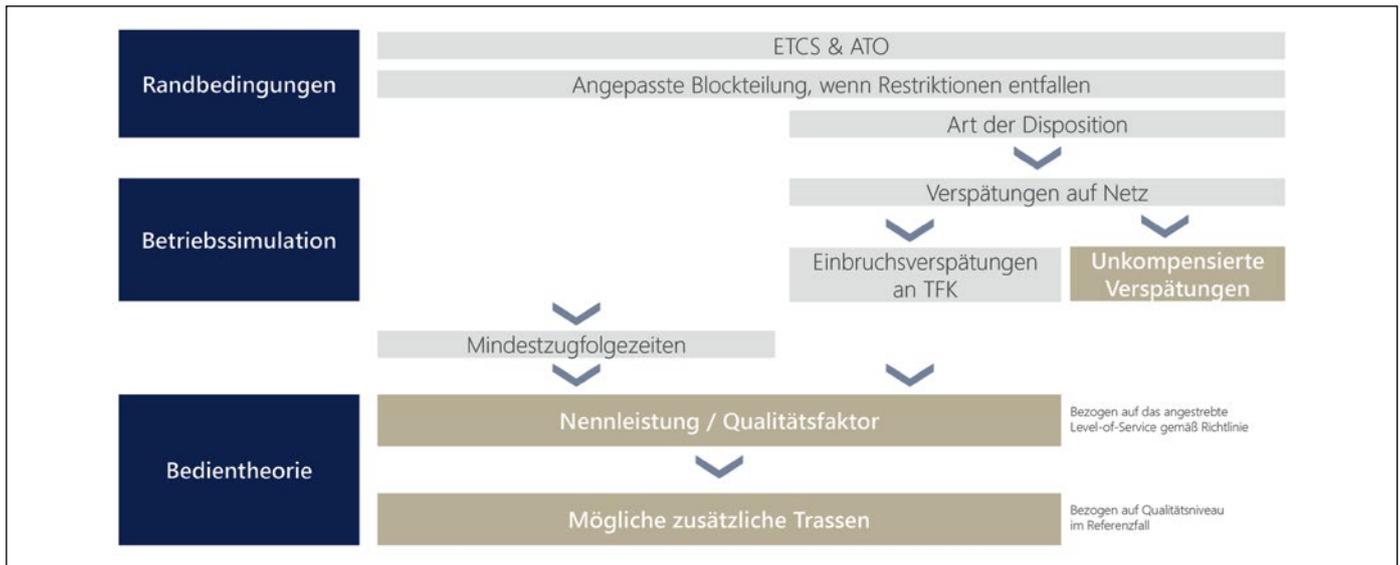


Abb. 4: Überblick über das Verfahren, das zu Aussagen über mögliche zusätzliche Trassen führt

DSD-Fahrzeugausrüstung inklusive ETCS, ATO GoA 2 und TIMS unterstellt. Weitere Prämissen sind in Tab. 1 zusammengefasst. Auf diesen Grundlagen wurden sechs aufeinander aufbauende Ausrüstungsszenarien gebildet (Abb. 3):

Der Nullfall mit ETCS L2oS und Blockteilung gemäß Anwenderhinweisen: typischerweise mit 500-m-Blöcken auf der freien Strecke, ohne weitere Optimierung im Bf und unter Beachtung der heutigen Restriktionen der Blockteilung. Die damit erreichbaren Wir-

kungen sind beispielsweise in [16] dokumentiert. Mit Szenario I wurde ATO GoA 2 eingeführt, jedoch weiterhin manuelle Disposition unterstellt („einfache“ Disposition wie in früheren EBWU). Damit kommt es zu späteren

Wir sind dort, wo Ihre Kunden sind.

1. Halbjahr 2024



Heft Nr. 3/24

- ▶ 12.03.2024
65. VDEI Oberbaufachtagung, Darmstadt
- ▶ 20.03. – 21.03.2024
VDEI Tagung Flächenmanagement, Fulda

Heft Nr. 5/24

- ▶ 14.05. 16.05.24
IT-Trans, Karlsruhe
- ▶ 10.06. - 12.06.24
VDV-Jahrestagung, Düsseldorf

März
2024

APRIL
2024

MAI
2024

JUNI
2024

Heft Nr. 4/24

- ▶ 17.04. – 18.04.24
Railway Diagnostic and Monitoring Conference, Köln

Heft Nr. 6/24

- ▶ 17.06. - 18.06.24
VDEI Eisenbahntage, Chemnitz
- ▶ 25.06.24
7.Eurailpress-Forum Alternative Antriebe im SPNV, Hamburg

Weitere Infos: Silke Härtel • Telefon: 040/237 14-227 • silke.haertel@dvwmedia.com

Änderungen vorbehalten

Bremseinsatzpunkten, jedoch wird nicht vorausschauend gefahren, somit werden unnötige Betriebshalte nicht vermieden.

- Mit Szenario II wird eine automatisierte Disposition (ähnlich CTMS) eingeführt. Durch automatisierte, vorausschauende Optimierung über sämtliche Züge hinweg werden Sollfahrkurven der Züge der Betriebslage angepasst und somit außerplanmäßige Betriebshalte weitgehend vermieden.
- Im Szenario III entfallen zusätzlich die Restriktionen der Blockteilung an Schaltabschnittsgrenzen der Oberleitung und Bahnübergängen [17]. Dabei wird angenommen, dass durch CTMS solche Parameter wie Zuglängen, Stromabnehmerpositionen (TCR) und die Bewegung des vorausfahrenden Zuges bei der Anforderung von Teilfahrstraßen mitberücksichtigt werden, um

die Restriktionen de facto vollständig aufzulösen.

- Im Szenario IV werden mit ATO und CTMS vorausschauend geführte Züge, in Erwartung der Bewegung des vorausfahrenden Zuges, nach dem in [18] dargestellten Prinzip über die Sollbremskurve (Permitted) hinaus, näher an die Zwangsbremseinsatzkurve (EBI) geführt, an eine Bremskurve EBI*.
- Im Szenario V wird die Blockteilung weiter verdichtet, entsteht näherungsweise ein „Moving Block“, wie er mit APS umgesetzt werden wird.

Als Ziel der Untersuchung war zu bewerten, ob und wie viele zusätzliche Trassen durch die Einführung und Kombination der unterschiedlichen Elemente bei Erhalt der Betriebsqualität möglich sind. Fragestellungen zur Leistungsfähigkeit (Züge/ Stunde) werden in der Regel mit

dem bedientheoretischen Ansatz („Analytik“) bewertet. Da dieser Ansatz allein aber insbesondere die Aspekte der CTMS-Disposition nicht bewerten kann, wurde eine experimentelle Kopplung aus Betriebssimulation und dem bedientheoretischen Ansatz entwickelt (Abb. 4). Aussagen zur Leistungsfähigkeit (Züge/ Stunde) werden in Deutschland immer in Abhängigkeit von einem definierten Qualitätsniveau getroffen, welches u.a. abhängig von dem Verhältnis zwischen Personen- und Güterzügen ist. In einem Bediensystem (Teilfahrstraßenknoten, TFK) ist eine definierte Summe an Wartezeiten zulässig. Mithilfe des bedientheoretischen Ansatzes wird berechnet, wie viel Wartezeit an einem Bediensystem aufgrund des Betriebsprogramms und der aufgetretenen Verspätungen entsteht. Mithilfe der „qualitätserhaltenden Nennleistung“ wurde für die fünf Szenarien berechnet, wie viele

ETCS	SRS	3.6.0
	Nationale Werte	gemäß BTSF3
Systemlaufzeiten	Fahrstraßenbildezeit	6,5 s + 0,4 s je Weiche (aufgerundet auf volle s)
	Bildezeit der Fahrterlaubnis (MA)	1 s
	MA-Übertragungszeit	2 s
	MA-Interpretationszeit	1 s
	Fahrstraßenauflösezeit	1 s
	Reaktionszeit nach Signalaufwertung	3 s ohne ATO 1 s mit ATO
	ATO-Verarbeitungszeit	1 s
ETCS Level 3	Fiktive Blocklänge (Näherung Moving Block, zur Abbildung von Sicherheitsmargen)	rund 140 m (5 s bei 100 km/h)
	Durchrutschwege	40 m (Standardwert, im Bf teils andere Werte)
ETCS-Bremskurven	Bremssmodell	Lambda-Modell (für alle Züge)
	Sicherheitsmarge zur Vermeidung Zwangsbremmung (vorausschauendes Fahren mit ATO)	2 s
freie Soll-Bremverzögerung	Personenverkehr	-0,7 m/s ²
	Güterverkehr Bremsstellung P	-0,35 m/s ²
	Güterverkehr Bremsstellung G	-0,2 m/s ²
Disposition	Dispositionsfrequenz	60 s
	Vorlaufzeit Fahrstraßenänderung Referenztechnologie (mündliche Kommunikation)	60 s
	Vorlaufzeit Fahrstraßenänderung mit CTMS und steuerndem Durchgriff	30 s
	Vorlaufzeit CTMS-Entscheidung	15 s
	Vorschaubereich der Prognose	15 min
Modellierung in EBWU	Bremseinsatzpunkt für Annäherungsfahrzeit [14]	ohne ATO: Indication-Bremskurve mit ATO: ATO-Sollbremskurve oder EBI*, je nachdem, was eher kommt
	angenommene Haltezeitverlängerungen	Werte für hochbelastete Haltebahnhöfe gemäß [15]
	angenommene Einbruchsverspätungen	Werte für hochbelastete Zulaufstrecken gemäß [15]
	Regelzuschlag mit ATO	auf 2/3 der Werte gemäß [15] reduziert

Tab. 1: Prämissen der Untersuchung

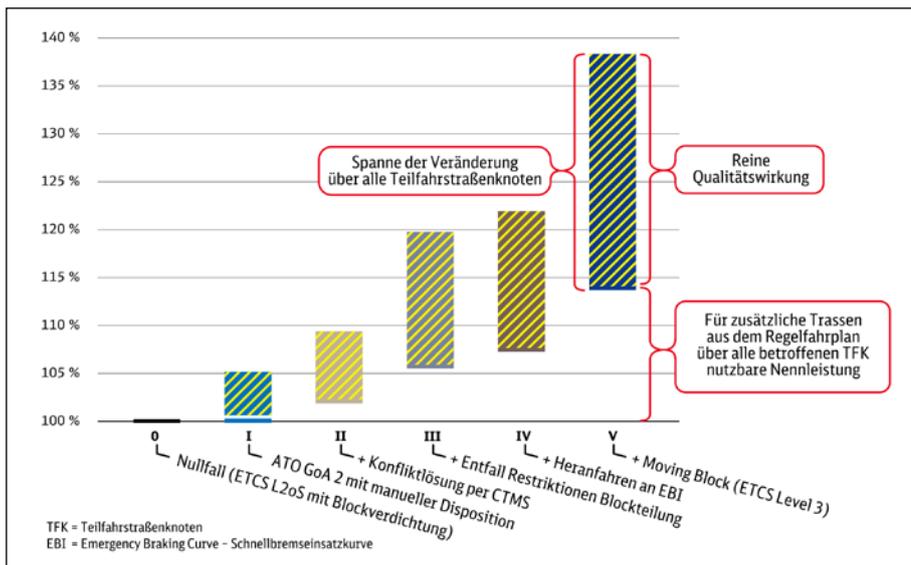


Abb. 5: Kapazitäts- und Qualitätswirkungen in den Szenarien

Trassen über die Gesamtheit der Bediensysteme im jeweiligen Untersuchungsraum genutzt werden können, damit die entstehende zusätzliche Wartezeit genau so groß ist wie im Nullfall. Bei der Differenz zwischen den berechneten Trassen im Nullfall und den Trassen in den Ausrüstungsszenarien I bis V handelt es sich dementsprechend um die Anzahl zusätzlicher Trassen, die die Bediensysteme bei identischem Qualitätsniveau verkraften können.

Ergebnisse

Abb. 5 fasst die Ergebnisse zusammen. Über die Szenarien sind darin aufgetragen:

- Die zusätzliche „qualitätserhaltende Nennleistung“, ausgewertet als 10-90%-Quantil über die 50 einzelnen Bediensysteme im Untersuchungsnetz mit der höchsten Belastung bzw. geringsten Betriebsqualität im Nullfall. Die Betriebsqualität wird dabei zwischen den Szenarien konstant gehalten.
- Daraus resultierende mögliche zusätzliche vermarktete Trassen (Kapazität). Dabei werden im Betriebsprogramm Modellzüge des Regelfahrplans verdichtet und wird auch die Paarigkeit von Fahrtrichtungen beachtet. Die gesteigerte Nennleistung je TFK wird möglichst maximal genutzt.

Die zusätzlichen Trassen liegen dabei nahe dem unteren Rand der zusätzlichen Nennleistung, da jede zusätzliche Trasse in allen von ihr befahrenden TFK Kapazität verbraucht und deswegen der TFK mit der geringsten Restkapazität maßgeblich wird. Zusammengefasst zeigt sich, wie ATO GoA 2 ohne CTMS (Szenario I) zu einer Qualitäts-, nicht jedoch zu einer Kapazitätswirkung führt. Mit CTMS (Szenario II) wird ein erster Kapazitätseffekt (3 %) erreicht, der über die weiteren Szenarien bis auf 14 % aufwächst. Der Qualitätseffekt geht dabei deutlich darüber hinaus und wächst auf eine Spannweite von 13,5 bis 38 % auf. Dies kann einen Beitrag leisten, um die heute un-

befriedigende Betriebsqualität auf dem hochausgelasteten deutschen Netz wieder in einen akzeptablen Bereich zu bringen.

Einordnung und Ausblick

Mit der vorliegenden Studie wurde erstmals ein konkreter und umfassender, gleichwohl weiterhin theoretischer Nachweis des betrieblich-verkehrlichen Nutzens wesentlicher Elemente der DSD erbracht. Sie liegen in Summe in der Größenordnung der Expertenschätzung von 2019. Die Studie kann gleichsam als ein Diskussionsbeitrag wie auch zur Rechtfertigung notwendiger Investitionen in die notwendigen Systeme gelten – einschließlich einer vollwertigen und über reines ETCS hinausgehenden DSD-Fahrzeugausrüstung [19]. Sie zeigt auch überdeutlich, dass die Chancen einer klug im Gesamtsystem gestalteten Digitalisierung – nicht nur ETCS, nicht nur Infrastruktur, sondern eine eng aufeinander abgestimmte Fahrzeug- und Infrastrukturausrüstung – immens sind.

Inwieweit die vielversprechenden Ergebnisse tatsächlich in die Praxis umgesetzt werden können, hängt gleichwohl maßgeblich von der weiteren Systementwicklung und der Ausrüstung der Züge ab. So wird in der Studie davon ausgegangen, dass die Restriktionen der Blockteilung mit CTMS auch tatsächlich vollständig aufgehoben werden können und dazu auch alle voraussichtlich notwendigen Daten (wie Stromabnehmerpositionen) vorliegen. Auch sind noch einige Entwicklungen nötig, darunter auch eine Zugintegritätsüberwachung von Güterzügen, wie sie mit der Digitalen Automatischen Kuppelung (DAK) realisiert werden soll. Nicht zuletzt ist es eine immense Herausforderung, die im Modell erbrachte Leistung auch in der tatsächlichen Betriebspraxis umzusetzen.

Gleichzeitig bestehen auch noch einige weiterführende Potenziale, die in der vorliegenden Studie noch nicht berücksichtigt werden konnten. Dazu zählen insbesondere besser ausgenutzte

[20] und optimierte [21] Trassierungen, aber auch fahrdynamisch optimierte Neufahrzeuge [8]. Bei unveränderten kommerziellen Fahrzeiten könnten damit zusätzliche „Spielmassen“ für CTMS entstehen, die bei konstanter Betriebsqualität wiederum zu einer höheren Nennleistung führen könnten. Ein noch zu erkundendes Feld liegt auch in Infrastrukturmaßnahmen, die in der regulären Nennleistung keine Wirkung zeigen, jedoch in Verbindung mit weitreichenden „digitalen“ Optimierungen eine solche entfalten könnten, z. B. schlanke Überholungen während geplanter Verkehrshalte [22]. Auch in den zugrunde liegenden Prämissen liegen noch mögliche Potenziale, beispielsweise in weiter verkürzten Systemlaufzeiten [23] oder einer fein [12] und auch im Bahnhofsbereich optimierten Blockteilung. Nicht zuletzt liegen auch in der weiteren Entwicklung der optimierenden Dispositionsverfahren Chancen, so auch im Bereich der „Künstlichen Intelligenz“.

LUKS wie auch das darin implementierte OptDis-Verfahren wird kontinuierlich weiterentwickelt werden, um weiterhin als Referenzsystem für die Bewertung von (C)TMS dienen zu können. Dabei gilt es auch, die Modellierung weiter zu schärfen, beispielsweise im Hinblick auf unterstellte ETCS-Bremskurven, unterstellte Bremsverzögerungen oder Moving Block (einschließlich Fehleroffenbarungszeiten der Zugtrennung [5]). Unsicherheiten bestehen dabei auch noch in der Abbildung der ATO-Fahrzeugeräte und deren proprietärer Optimierungsfunktionen. Zukünftig könnte auch der tatsächliche, in Entwicklung befindliche CTMS-Produktprototyp [4] eingesetzt werden. Die Ergebnisse der Studie sind in der Mediathek unter www.digitale-schiene-deutschland.de veröffentlicht. Eine vertiefende Untersuchung zu den Pünktlichkeitseffekten ist noch im Gang. Aufbauend auf der vorliegenden Studie wird es in den nächsten Schritten darum gehen, die Effekte zu erhärten, Prototypen zu schaffen, diese in der Praxis zu pilotieren und letztlich im Feld umzusetzen. ■

QUELLEN

- [1] Webseite „Die Vision und das Zielbild der Digitalen Schiene Deutschland“ (<https://www.digitale-schiene-deutschland.de/Vision-und-Zielbild>, abgerufen am 24. November 2023)
- [2] Dietrich, F.; Erdmann, J.; Jost, M.; Raichle, F.; Sane, N.; Vogel, T.; Wagner, P.: Nachrüstung von 333 Triebzügen für den Digitalen Knoten Stuttgart, ZEVrail 5/2022 (<https://bit.ly/3DH20S5>)
- [3] Skowron, F.; Treydel, R.: Blöcke waren gestern – Chancen einer zugzentrischen LST, DER EISENBAHNINGENIEUR 11/2022 (<https://bit.ly/3UXNYah>)
- [4] Küpper, M.: Das Capacity & Traffic Management System für die Digitale Schiene, DER EISENBAHNINGENIEUR 10/2023 (<https://bit.ly/40BWDmT>)
- [5] Flöter, C.; Raichle, F.; Höhne, T.; Köstlbacher, J.; Sane, N.; Sauer, M.; Schlichting, J.; Wagner, P.: Innovationskooperation Fahrzeugausrüstung im Digitalen Knoten Stuttgart, SIGNAL+DRAHT 9/2022 (<https://bit.ly/3dxD0Z6>)
- [6] Biembacher, I.; Hundertmark, A.; Marsch, P.; Fiack, A.; Grell, A.; Spiegel, M.; Laux, T.: Blick in die Zukunft der Eisenbahn – Grundlagen des digitalen Bahnsystems, Eisenbahn Ingenieur Kompendium 2023 (<https://bit.ly/3sBae1c>)
- [7] Fiack, A.; Weller, F.; Heimes, M.; Laux, T.: Digitale Schiene Deutschland – Zukunftstechnologien für das Bahnsystem, Eisenbahn Ingenieur Kompendium 2024
- [8] Kümmling, M.; Wanstrath, S.: „Digitale“ Kapazitätssteigerungen: ein Sachstand, Eisenbahn Ingenieur Kompendium 2024

[9] Ingenieurgesellschaft Machbarkeitsstudie ETCS S-Bahn Stuttgart: Untersuchung zur Einführung von ETCS im Kernnetz der S-Bahn Stuttgart. Ergebnisbericht vom 31. Januar 2019 (<https://bit.ly/2Yyaw6h>)

[10] Büker, T.; Hennig, E.; Weymann, F.: Nutzenbewertung von TMS/ATO und weiterer Innovationen mittels Simulationsverfahren, Eisenbahntechnische Rundschau 6/2022 (<https://bit.ly/3FY8T7R>)

[11] Beyer, M.; Bateau, V.; Bitzer, F.; Dietrich, F.; Lammerskitten, C.; Lück, B.; Richter, R.; Rudolph, C.; Vogel, T.: Der Digitale Knoten Stuttgart wird Realität, DER EISENBAHNINGENIEUR 1/2023 (<https://bit.ly/3RCeqFR>)

[12] Denißen, J.; Flieger, M.; Kümmling, M.; Küpper, M.; Wanstrath, S.: Optimierung der Blockteilung mit ETCS Level 2 im Digitalen Knoten Stuttgart, SIGNAL+DRAHT 7+8/2021 (<https://bit.ly/3Ai0gQR>)

[13] DB Netz: Richtlinie 413.0301 Streckenstandards

[14] Förster, J.; Kümmling, M.; Olesch, M.; Reinhart, P.; Vandoorne, K.; Vogel, T.: ETCS-Bremskurven im Spiegel der Praxis, DER EISENBAHNINGENIEUR 6/2023 (<https://bit.ly/3plqlhR>)

[15] DB Netz: Richtlinie 405.0204A03, Tabellen 1 und 2

[16] Bührsch, P.; Büker, T.; Schotten, S.; Hardel, S.: Vorteile und Nutzen von ETCS L2oS und DSTW im Schienenverkehr, Eisenbahn Ingenieur Kompendium 2022 (<https://bit.ly/3P8i3nq>)

[17] Hernández, L.; Hardel, S.: Schaltabschnittsgrenzen und Bahnübergänge schränken Kapazitätseffekt von ETCS Level 2 ein. SIGNAL+DRAHT 1+2/2023 (<https://bit.ly/40AY6br>)

[18] Kümmling, M.; Wanstrath, S.: Maximierung der Fahrwegkapazität mit Digitaler Leit- und Sicherungstechnik. Eisenbahntechnische Rundschau 7+8/2021 (<https://bit.ly/3eY0apT>)

[19] Dietrich, F.; Molterer, L.; Philippsen, F.; Reinhart, P.; Schunke-Mau, C.; Vogel, T.; Wester-Ebbinghaus, H.: Förderung der DSD-Fahrzeugausrüstung im Digitalen Knoten Stuttgart. DER EISENBAHNINGENIEUR 4/2023 (<https://bit.ly/3N24h5o>)

[20] Berger, F.; Behrens, M.; Falk, M.; Klaus, C.; Nehmsch, H.; Ketszem, R.; Mayerle, T.; Rupp, F.: Beschleunigung der LST-Planung im Digitalen Knoten Stuttgart. DER EISENBAHNINGENIEUR 11/2023 (<https://bit.ly/3G6kV95>)

[21] Enzmann, A.; Falk, M.; Kreher, K.; Lay, E.; Reinhart, P.; Walf, F.: Trassierungsfeinschliff: Millimeterarbeit mit großem Nutzen. DER EISENBAHNINGENIEUR 4/2021 (<http://www.bsu.link/task-force-trassierung>)

[22] Ohmayer, R.: Optimierung von Überholvorgängen mit digitaler Leit- und Sicherungstechnik. Bachelorarbeit Mai 2022 (<https://bit.ly/38buPJR>)

[23] Behrens, M.; Caspar, M.; Distler, A.; Fries, N.; Hardel, S.; Krebner, J.; Lau, K.; Pensold, R.: Schnelle Leit- und Sicherungstechnik für mehr Fahrwegkapazität. DER EISENBAHNINGENIEUR 6/2021 (<https://bit.ly/2SIQvjY>)



Eike Hennig

Senior-Ingenieur
quattron management Consulting GmbH,
Aachen
eike.hennig@quattron.com



Dr. Thorsten Büker

Geschäftsführer
quattron management Consulting GmbH,
Aachen
thorsten.bueker@quattron.com



Peter Reinhart

Monitoring Gesamtsystem Bahn
DB InfraGo AG, Stuttgart
peter.reinhart@deutschebahn.com



Simon Heller

System-Spezifikation
und -Integration DBS
DB InfraGo AG, Berlin
simon.heller@deutschebahn.com



Dr. Frédéric Weymann

IT-Architekt
quattron management Consulting GmbH,
Aachen
frederic.weymann@quattron.com

7. EURAILPRESS-FORUM

ALTERNATIVE ANTRIEBE im SPNV

25. Juni 2024 | Hamburg

SAVE THE DATE!

Weitere Informationen demnächst unter:

www.eurailpress.de/veranstaltungen

Der neue Hybrid

aus Bremsenergie wird Strom

In Kooperation mit:

Veranstalter:

Medienpartner: