

Beschleunigung der LST-Planung im Digitalen Knoten Stuttgart

Neue Ansätze für Vermessung, Datenmodelle und Planungswerkzeuge gewinnen an Reife und zeigen vielfältige Chancen für eine einfachere und gleichzeitig bessere Planung.

**FALK BERGER | MARC BEHRENS |
MARTIN FALK | CHRISTOPH KLAUS |
HOLGER NEHMSCH | RAUL KETZEM |
TOBIAS MAYERLE | FRANK RUPP**

Im Lichte zunehmenden Fachkräftemangels ist es unabdingbar, auch die Planung der Leit- und Sicherungstechnik (LST) und weiterer Gewerke so weit wie sinnvoll möglich zu vereinfachen, zu beschleunigen und zu automatisieren. Neben leistungsfähigeren Werkzeugen und durchgängiger digitaler Datenhaltung kommt dabei auch der Bereitstellung der zugrunde liegenden Gleisnetzdaten eine zentrale Rolle zu. Zunächst durchwachsene Erfahrungen bei der Planung für den Kern des Digitalen Knotens Stuttgart (DKS) wurden zwischenzeitlich zum Zündfunken für einige Optimierungen. Am Ende dessen könnte eine deutlich schnellere, effizientere und gleichzeitig bessere Planung stehen – weit über die reine LST hinaus.

Motivation

Die Erneuerung und der Ausbau der Eisenbahn in Deutschland stoßen immer wieder an die Grenzen der verfügbaren Fachplanungsressourcen. Dies gilt auch für die im Rahmen der DSD forcierte Erneuerung der LST. Gleichzeitig erlebt die LST-Planung durch die „Digitalisierung“ einen Umbruch, treten beispielsweise Digitale Stellwerke (DSTW) an die Stelle Elektronischer Stellwerke (ESTW) und European Train Control System Level 2 „ohne Signale“ (ETCS L2oS) an jene konventioneller Signalisierung und Zugbeeinflussung. Daraus ergeben sich viele Chancen für eine bessere Bahn, wie eine optimierte Blockteilung [1] und verkürzte Systemlaufzeiten [2], aber auch neue Fallstricke wie Kabelmengen [3] oder Bremskurven [4]. Gleichzeitig gilt es mehr denn je, viele Wechselwirkungen in den Blick zu nehmen, z. B. zur Trassierung [5], zur Oberleitung [6], zu Bahnübergängen [7] und zur Bahnenergieversorgung [8]. Um die „digitale“ Eisenbahn zum Erfolg zu führen, sind Eisenbahningenieure mehr denn je gefragt, das System Bahn umfassend zu verstehen und gewerkeübergreifend zu gestalten.

Es ist insofern schlicht alternativlos, die Ressourcen aller am Planungsprozess Beteiligter

nicht nur so gut wie möglich auszubauen und weiter zu qualifizieren, sondern auch effizienter zu nutzen. So scheint es unabdingbar, Aufwände zu mindern und Aufgaben wo immer sinnvoll möglich zu automatisieren. Eine wesentliche Grundlage dafür ist PlanPro, ein seit 2009 vorangetriebenes einheitliches Datenformat und Objektmodell für effiziente LST-Planungen. [9, 10] Das darauf seit 2021 aufsetzende Projekt D3iP reicht weiter und zielt auf eine völlig „Durchgängig Digitale Datenhaltung im Planungsprozess“ [11, 12]. Eine wesentliche Grundlage dafür sind Gleisnetzdaten (GND) [13] im Lage- und Höhenfestpunktsystem der Deutschen Bahn AG (DB) (DB_REF2016 [14]) als MDB oder Trassierungsdaten im Format ASCIBAHN, aus denen Knoten-Kanten-Modelle abgeleitet werden.

Die Bundesrepublik Deutschland fördert die „Beschleunigung durch Automatisierung der Planung“, die im Starterpaket der DSD pilotiert werden soll, mit etlichen Millionen EUR. Dazu zählen „Systeme zur automatisierten Erfassung der zu überplanenden Bestandsinfrastruktur und der zugehörigen BIM-konforme[n] Datenverarbeitung“ sowie eine „Automatisierung des Planungsprozesses und der Planprüfung“ [15].

Im Rahmen des Starterpaket-Projekts DKS werden rund 500 Netzkilometer (Abb. 1) und zunächst rund 500 Triebzüge ausgerüstet [16, 17, 18]. Während die bis 2025 geplante Umsetzung im Kern des Knotens in vollem Gange ist, arbeiten inzwischen dutzende DB-Mitarbeitende auch an der Konzeption und Planung für das Umland (Baustein 3). Im Rahmen des DKS werden dabei u. a. wesentliche Grundlagen für die DSD gelegt [19], ist die verkehrliche Leistungsfähigkeit zu maximieren [20] und auch die „digitale“ Planung zu pilotieren [21]. Für eine Klimaneutralität im Jahr 2040 sieht allein das Land Baden-Württemberg mehr als 100 weitere Infrastrukturmaßnahmen im Umfeld vor [22].

Erfahrungen im Kern des Knotens

Die LST-Infrastruktur für den rund 125 Netzkilometer umfassenden Kern des DKS (Bausteine 1 und 2) wurde Ende 2020 an Thales vergeben, ein Großteil der Ausführungsplanung und Planprüfung an eine Gruppe von Ingenieurbüros um safeTrail unterbeauftragt [23]. Der Ausrüstungsbereich gliedert sich zu etwa gleichen Teilen in den weitgehend unterirdischen Stuttgart-21-Neubau und den Bestand. Das Planungsergebnis sollte nicht nur in „klas-

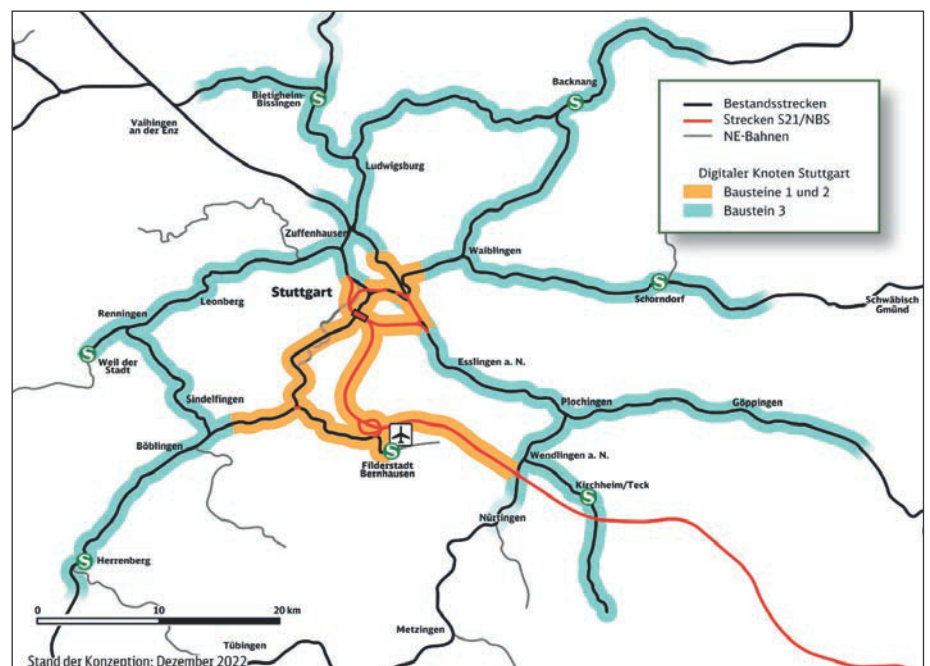


Abb. 1: Der Digitale Knoten Stuttgart umfasst rund 500 Netzkilometer.

Quelle: DB

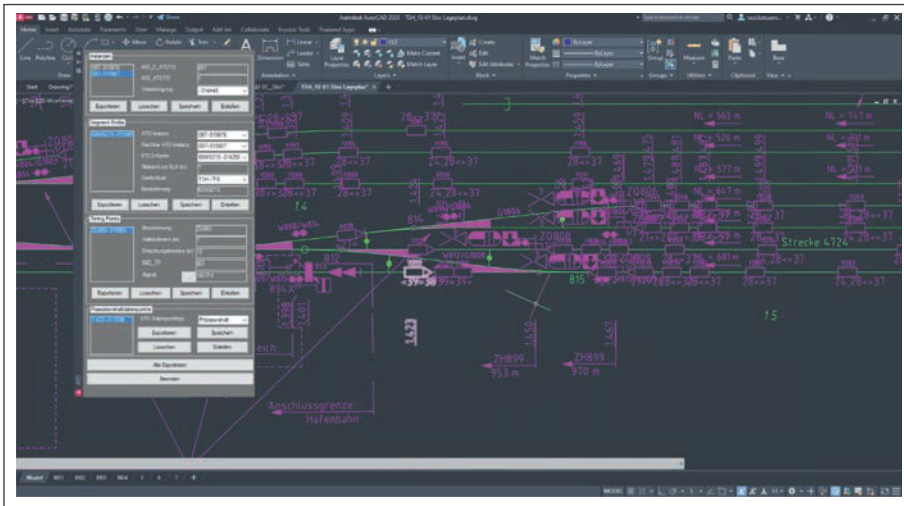


Abb. 2: Eindruck aus der LST-Planung (zu ATO) mit safeTPlan

Quelle: safeTrail

sicher“ Form (PDF-Pläne, Tabellen), sondern vorrangig in Form von PlanPro-Daten (XML) übergeben werden.

Datengrundlagen und Vermessung

Während für den S21-Neubau auf eine umfangreiche, nativ digital vorliegende Planung im Gleisnetzdatenformat (GND) zurückgegriffen werden konnte, wurden für den gesamten Bestandsbereich terrestrische Aufnahmen erhoben. Die daraus gewonnenen Daten wurden der in Plänen beschriebenen Soll-Trassierung gegenübergestellt. Im Laufe der Zeit entstandene kleinere Veränderungen an Gleis- und Festpunktlagen wurden bereinigt, bei größeren Abweichungen wurde die Trassierung neu aufgebaut und die Ist-Gleislage zum neuen Soll erklärt.

Wesentliche Erschwernisse der Vermessung liegen im parallellaufenden Bahnbetrieb sowie in vielen notwendigen Detailaufnahmen während der laufenden Planung (z.B. Innenleben von Kabelschächten oder Konstruktion von Oberleitungsmasten). Aufgrund meist dichter Verkehre stießen konventionelle Vermessungen an klare Grenzen. In Tagschichten sind Streckensperrungen kaum möglich, wonach ein Arbeiten im Gleisbereich ausgeschlossen oder sehr ineffizient ist. Das Arbeiten in den wenigen Stunden der nächtlichen Betriebspausen wird durch Dunkelheit erschwert und gestaltet sich äußerst langwierig. Auch bei der Zusammenführung der verschiedenen und oft nicht genau übereinstimmenden Quellen – u.a. Lagepläne, bestehende und neue GND, Neuaufnahmen – war viel „Handarbeit“ gefragt, um eine konsistente Grundlage für die LST-Planung zu schaffen. Auch die Aktualität, Genauigkeit und Qualität vorhandener Daten waren vielfach Themen.

LST-Planung

Die LST-Planung erfolgt mit dem Planungswerkzeug safeTPlan (Abb. 2) [24]. Es wird von safeTrail in enger Anlehnung an den PlanPro-

Standard entwickelt. Durch ein zunehmendes Maß an Automatisierung soll Planenden ermöglicht werden, sich auf ihre Kernaufgaben zu fokussieren. So werden beispielsweise aus einer einmalig eingegebenen Gleisbezeichnung automatisch weitere Daten wie Bezeichner abgeleitet und dies in alle Pläne und Tabellen übernommen.

Zum Beginn der Ausführungsplanung war das PlanPro-Datenmodell (in Version 1.9.0) bereits weit gediehen, u.a. gerade erst um ETCS ergänzt worden [25]. Es hatte DB-intern bereits praktische Anwendung und Erprobung in ersten ETCS-Planungen gefunden, darunter im Musterbahnhof P-Hausen [25] und im Projekt Knappenrode – Horka [26], woraus wichtige Erkenntnisse für die weitere Modell- und Werkzeugentwicklung gezogen wurden. Auch für den DKS wurden im Rahmen der Planungen

für die Ausschreibungsunterlagen PlanPro-XML-Dateien erzeugt und übergeben. Im DKS findet PlanPro erstmals in einem großen Knoten Anwendung, einschließlich ETCS [27] und hochautomatisiertem Fahren (ATO GoA 2). Das Datenmodell wurde dabei in konstruktiver Zusammenarbeit weiterentwickelt, u.a. ATO ergänzt und Lösungen für etliche Details gefunden, wie Feinheiten der Modellierung von Flankenschutzdefinitionen bei Kreuzungsweichen. Als zentraler Stolperstein erwies sich das Ziel, aus der PlanPro-Datenbank sämtliche Pläne zu erzeugen. Für mehrere Betriebsstellen konnten mit safeTPlan PlanPro-Dateien generiert und so weit angepasst werden, dass der dazu vorgesehene Werkzeugkoffer [28] brauchbare Ansichten erzeugte. Auch wurde dieser parallel zum Projekt weiterentwickelt und durch notwendige Funktionsverbesserungen wie die Visualisierung von Bauzuständen ergänzt. Weitere notwendige Funktionen, beispielsweise für Änderungsmitteilungen und die Erzeugung von Übersichtsplänen, standen jedoch noch nicht zur Verfügung oder erwiesen sich als noch nicht völlig praxisreif. Auch das Vertrauen in die Visualisierung durch den Werkzeugkoffer, um auf dieser Grundlage Pläne formal prüfen und freigeben zu können, schien noch nicht gegeben. Mit Blick auf Terminplan und Risiken fiel in verschiedenen Planbereichen im Februar 2022 und März 2023 die Entscheidung, die Planung stattdessen als PDF-Dateien direkt aus safeTPlan zu exportieren. Die Planprüfer prüfen noch ausschließlich auf einem Papierexemplar, der Planlauf und die Freigabe erfolgen jedoch elektronisch in ePlass.

Parallel zu der auf diesen freigegebenen Plänen laufenden Umsetzung läuft die Zusammenarbeit weiter: So ist es inzwischen gelungen, für die mäßig komplexe Betriebsstelle Stuttgart



Abb. 3: Bild aus Befliegung des Bahnhofs Stuttgart-Zuffenhausen

Quelle: Auszug aus Drones2BIM; DB

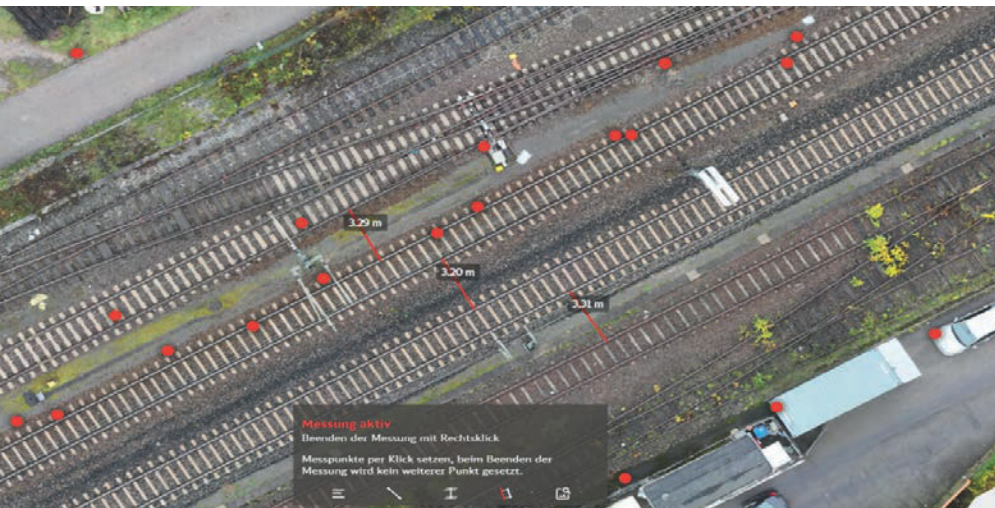


Abb. 4: Eindruck aus Messungen anhand erhobener Daten per Browser

Quelle: DB

Hafen eine vollständige DSTW-, ETCS- und ATO-Planung ohne Nachbearbeitung von einem Planungswerkzeug (safePlan) zu einem anderen (ProSig) über die PlanPro-Schnittstelle zu übergeben. An komplexeren Betriebsstellen wie Stuttgart-Untertürkheim wird gearbeitet, und es werden weitere Verbesserungen im Modell mit der kommenden Version 1.11 umgesetzt.

Während für die Projektierung von Stellwerken und ETCS-Zentralen, aber beispielsweise auch begleitenden Arbeiten wie der Blockoptimierung [1, 23] noch PDF-Dateien herangezogen werden, finden PlanPro-Daten u.a. bereits in der Projektierung des Digitalen Registers (für die ATO-Streckenzentrale [23]) und TecWatch [29] Verwendung.

Erste Erfahrungen im Umfeld

Im Rahmen des Bausteins 3 wird der DKS schrittweise auf rund 500 Netzkilometer aus-

gedehnt – durchgängig im Bestand und nahezu ohne Tunnel. Die laufende Grundlagen-ermittlung und Vorplanung der Infrastruktur erfolgt durch DB E&C, in enger Abstimmung mit einem inzwischen mehr als 25-köpfigen Team der DB PSU.

Vermessung

Auf der Grundlage der früheren Erfahrungen sowie technischer Fortschritte wurde für die Vermessung im Baustein 3 ein anderer Ansatz verfolgt, um daraus sowohl eine PlanPro-fähige LST-Planung als auch ein BIM-Bestandsmodell zu speisen. Nach Sichtung vorhandener Grundlagen wie Plänen (Ivl, Ivmg) und teilweise aus früheren Planungen vorhandenen Trassendaten (ProSig-Auszüge) zeigte sich, dass kaum geeignete Daten (in DB_REF2016) vorlagen.

Daher fiel die Entscheidung, den gesamten DKS-Bereich mit der 360°-Multisensorplatt-

form aufzumessen, einer von der DB Bahnbau Gruppe und der DB E&C entwickelten, zugestützten Plattform zur Erfassung der Eisenbahninfrastruktur [30]. Das Fahrzeug befährt mit eigenem Fahrplan Hauptgleise mit einer Geschwindigkeit von etwa 60 bis 80 km/h. Es erzeugt dabei u.a. Punktwolken, 360-Grad-Bildpanoramen, planare Bilder (im Abstand von 3 m) sowie Georadargramme. Die Kampagne wird zusätzlich über Passpunkte im Bezugssystem DB_REF2016 gestützt. In Bereichen ohne besonders genaue Passpunkte (PS4-Punkte) werden diese mittels einer Kombination von terrestrischer und auf Satellitennavigation basierender Echtzeitkinematik (Real Time Kinematic, RTK) bestimmt. Die (Umfeld-)Daten werden insbesondere in Nebengleisen und Abschattungsbereichen ergänzt durch Orthofotos aus Befliegungen mittels Multicopter (Abb. 3) [31]. Die umfangreichen Daten werden mit einem Ausgleichsprogramm ausgewertet, das die Daten zusammenfügt und dabei automatisch Passpunktsysteme erkennt, um die bislang übliche Fortpflanzung von Messfehlern zu vermeiden. In einem ersten, über 30 km langen Streckenbereich wurden Ausgleichsgenauigkeiten von unter 5 cm erzielt. Das Ergebnis ist besser als erwartet, scheint für eine LST-Planung ausreichend und lässt weitere Optimierungspotenziale erkennen. Der Gesamtaufwand dafür liegt für den gesamten DKS in einer Größenordnung von ungefähr 10 Mio. EUR.

Im Vergleich zu terrestrischen Messungen

- ist dieses Verfahren jedoch wesentlich schneller, effizienter und kommt praktisch ohne Sperrpausen aus
- stehen große Mengen Daten einfach zugänglich per Browser zur Verfügung, darunter Orthofotos und umfassende Rohdaten wie Punktwolken. Mit ein paar Mausklicks können so beispielsweise Abstände im Feld

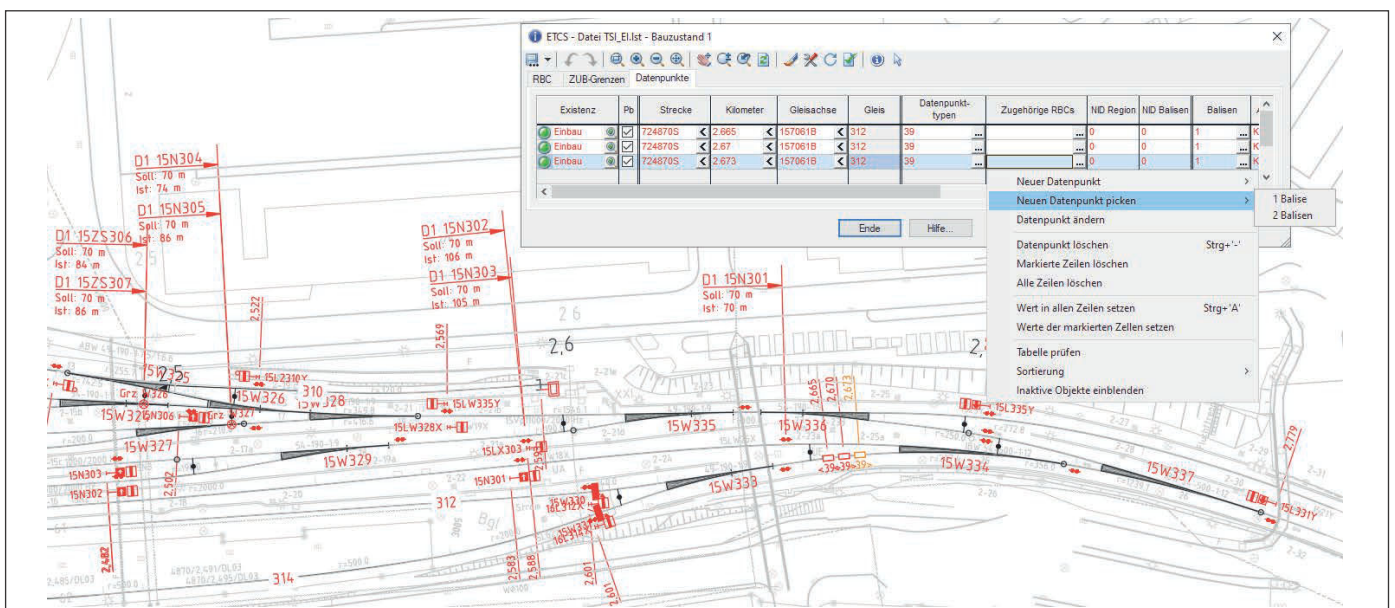


Abb. 5: Eindruck aus der teilautomatisierten LST-Planung mit ProVI 7.1

Quelle: DB E&C

abgeschätzt werden, ohne einen Vermessungsingenieur zu bemühen (Abb. 4)

- sind die ungleich umfassenderen Daten vielseitiger verwendbar
- kann der Abgleich mit bisherigen Bestandsunterlagen rein visuell erfolgen.

Die gewonnenen Punktdaten wurden durch DB E&C in eine Trassierung, in Gleisnetzdaten sowie ein BIM-Modell überführt. Ferner werden neue Bänder der in der Trassierung möglichen Geschwindigkeiten, zunächst für Überhöhungsfehlbeträge von 130 mm [5], aufgestellt und dabei die mit ETCS möglichen Meter- und 5-km/h-Schritte berücksichtigt [32]. Um umfangreiche fahrdynamische und gleisgeometrische Prüfungen der (unveränderten) Trassierung möglichst zu vermeiden, werden die Bänder nicht in Plänen, sondern in Tabellen ausgewiesen.

LST-Planung

Die LST-Planung mit dem Werkzeug ProVI LST erfolgt auf Basis von PlanPro 1.10.0.1 anhand der vorliegenden Trassierungsdaten (Abb. 5). Im Rahmen einer Entwicklungskooperation von DB E&C mit der ProVI GmbH [33] werden seit kurzem neue Funktionalitäten der zweiten Entwicklungsstufe (ProVI 7.1) genutzt. So werden neue, für die Vor- und Entwurfsplanung von ETCS benötigte Teilaspekte im Rahmen eines Beta-Tests erprobt, einschließlich für L2oS weiterentwickelter Automatisierungsroutinen, beispielsweise zu Durchrutschwegen und Anordnung von Achszählern.

Die vergleichsweise frühe Nutzung von PlanPro bereits in der anlaufenden Vorplanung förderte dabei einige Erkenntnisse für dessen weitere Entwicklung zutage: So werden bei Prüfläufen mit dem Werkzeugkoffer noch nicht festgelegte, jedoch in der Vorplanung noch nicht notwendige Daten bemängelt, beispielsweise Angaben zur Energieversorgung einzelner Achszähler. Durch die große Dynamik bei der Ausgestaltung von Planungsphasen bzw. Projektreifegraden wird es hier zunächst nicht möglich sein, eine inhaltliche Fixierung vorzunehmen. Insofern wird aktuell daran ge-

arbeitet, die Handhabung großer Mengen von Feststellungen bezüglich fehlender Inhalte zu verbessern.

Ausblick

Ein Großteil des DKS wurde inzwischen mit dem neuen Verfahren aufgemessen, die Aufbereitung der Daten wurde für erste Teilbereiche abgeschlossen. Mit dem weiter rasch voranschreitenden Reifegrad von PlanPro-Modell und Werkzeugen könnten diese Daten den Weg ebnen, erstmals eine durchgehend digitale Planung durch alle Leistungsphasen zu führen – und dabei immer mehr Potenziale für eine effizientere Planung und Realisierung tatsächlich zu heben.

Auf diesem Weg gibt es noch viel zu tun und zu klären: So sind Planprüfung und Projektierung noch mit Medienbrüchen verbunden, die im Rahmen von D3iP noch aufgelöst werden müssen. Auch ist beispielsweise nicht klar, in welcher LST-Planungsphase welche Daten in welchem Umfang und in welcher Genauigkeit tatsächlich benötigt werden. Ist beispielsweise eine zentimetergenaue Vermessung, die nach jetzigem Stand auch weiterhin nur mit konventionellen Verfahren möglich ist, überhaupt notwendig? Und können und sollten bisherige Planungsphasen zusammengelegt werden?

Bei alledem können Werkzeuge, Algorithmen und KI freilich die Arbeit des Planers nicht vollends ersetzen. Planer sollten sich nicht blind darauf verlassen; nur weil es „digital“ ist, werden die Grundlagen doch aus unterschiedlichen Datenquellen zusammengestellt bzw. verschnitten, mit unterschiedlicher Sensorik bzw. Messmethodik aufgenommen bzw. aus verschiedenen Datenquellen erhoben. Am Ende obliegt dem Planer die Beurteilung und Bewertung.

Eine weitere Automatisierung und Vereinfachung ist dabei auch bereits im DKS alternativlos. So kann die im Kern des Knotens praktizierte Blockoptimierung, mit der zum Teil mit weniger Blöcken kürzere Zugfolgezeiten erreicht werden [1], aufgrund knapper Fachressourcen voraussichtlich nicht auf den

Baustein 3 übertragen werden. Auch nehmen einzelne Prüfschritte wie Eisenbahnbetriebswissenschaftliche Untersuchungen (EBWU) oder fahrdynamische und gleisgeometrische Prüfungen meist Monate in Anspruch. Um zumindest einen Teil der Vorplanungen noch wie geplant 2024 abzuschließen und den Baustein 3 im Horizont 2030 in Betrieb zu nehmen, braucht es mehr Effizienz und Optimierungen. Dazu zählen im Übrigen auch weitere Potenziale für Vereinfachungen des Planrechts, das reine LST-Maßnahmen inzwischen planrechtsfrei stellt, Zusammenhangmaßnahmen wie Bahnübergänge jedoch oft nicht. Auch gilt es, die zu planenden und zu bauenden Feldelemente so weit wie sinnvoll möglich zu reduzieren, beispielsweise in Bezug auf Balisenteppiche [35] oder Achszählpunkte [36, 37].

Wenn Fachleute entlastet werden, bereitet dies auch weiteren Optimierungen den Raum: So arbeiten die DB und ihre Partner im DKS inzwischen daran, anhand zweier Zuläufe zum Knoten Stuttgart vertieft zu prüfen, ob das in [16] und [38] skizzierte Ausbaukonzept mit schlanken Überholungen tatsächlich aufgehen könnte, um mit vergleichsweise einfachen Mitteln im Gesamtsystem Bahn massiv mehr Kapazität zu schaffen – auch auf hochbelasteten Mischverkehrsstrecken. Die erhobenen Daten und die daraus teilautomatisiert abgeleiteten 5-km/h-Geschwindigkeitsbänder (Abb. 6) sind dafür eine Grundlage.

Weiter gedacht, reichen die mit der Digitalisierung der Planung verbundenen Chancen und Potenziale letztlich weit über die LST-Planung hinaus: So drängt es sich auf, auch begleitende Prozesse wie fahrdynamische und gleisgeometrische Prüfungen oder EBWU in ähnlicher Weise deutlich zu beschleunigen und in eine eng verzahnte Werkzeugkette einzubinden. Könnte daraus letztlich eine Art integrale Planung im System Bahn entstehen, in der hochautomatisiert beispielsweise Blockteilungen, optimierte Geschwindigkeitsprofile oder Trassierungsoptimierungen vorgeschlagen [39, 40] und iterativ mit ein paar Klicks optimiert werden? Und all das unmittelbar einer ersten

| Bahnhof: Sindelfingen | | | | | | DKS3-PB1: Geschwindigkeitsberechnung | | | | 09.2023 |
|--|--------------|--------|----------|------------|---------------|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------|-----------------|---------|
| Trassenname: 724870R (Richtungsgleis 4870 Bf Sindelfingen) | | | | | | Datenbank: LST-3 | | | | |
| | | | | | | Vmax = 120 km/h Hg = 100 km/h | | | | |
| Elementtyp | Gleisstation | Radius | Länge | Überhöhung | Berechnung uf | max. fahrbare V | max. fahrbare V auf 5 km/h-Schritte | max. V nach IVMG | max. V nach VZG | |
| Gerade | 0 | 0 | 68,7853 | 0 | 110 | [Vmax] | 120 | 100 | 70 | |
| Klothoide | 68,7853 | | 75 | | | | | | | |
| Bogen | 143,7853 | -350 | 154,7418 | -90 | 130 | 80 | 80 | 80 | 70 | |
| Bogen | 298,5271 | -380 | 40,5284 | -90 | 130 | 84 | 80 | 80 | 70 | |
| Bogen | 339,0555 | -330 | 41,9253 | -90 | 130 | 78 | 75 | 70 | 70 | |
| Bogen | 380,9808 | -308 | 47,9044 | -90 | 130 | 75 | 75 | 70 | 70 | |
| Klothoide | 428,8852 | | 50,61 | | | | | | | |
| Gerade | 479,4952 | 0 | 33,2311 | 0 | 110 | 83 | 80 | 70 | 70 | |
| Bogen | 512,7263 | -788,7 | 114,8028 | 0 | 110 | 84 | 80 | 70 | 70 | |
| Gerade | 627,5291 | 0 | 67,1543 | 0 | 130 | [Vmax] | 120 | 100 | 70 | |
| Bogen | 694,6835 | 3700 | 31,3778 | 0 | 130 | [Vmax] | 120 | 100 | 70 | |
| Gerade | 726,0613 | 0 | 34,3347 | 0 | 130 | [Vmax] | 120 | 100 | 70 | |
| Bogen | 760,396 | -3500 | 41,337 | 0 | 130 | [Vmax] | 120 | 100 | 70 | |
| Gerade | 801,733 | 0 | 178,7731 | 0 | 130 | [Vmax] | 120 | 100 | 80 | |
| Bogen | 980,506 | -2000 | 54,7975 | 0 | 130 | [Vmax] | 120 | 100 | 80 | |
| Gerade | 1035,3035 | 0 | 58,4317 | 0 | 130 | [Vmax] | 120 | 100 | 80 | |

Abb. 6: Auszug aus einem automatisiert erstellten Geschwindigkeitsband

Quelle: DB E&C

betrieblichen, verkehrlichen und wirtschaftlichen Bewertung unterzogen wird? Nicht in Monaten, sondern in Minuten? ■

Das Projekt wird kofinanziert von der Europäischen Union.



QUELLEN

- [1] 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>)
- [2] Behrens, M.; Caspar, M.; Distler, A.; Fries, N.; Hardel, S.; Kreßner, J.; Lau, K.; Pensold, R.: Schnelle Leit- und Sicherungstechnik für mehr Fahrwegkapazität, DER EISENBAHNINGENIEUR 6/2022 (<https://bit.ly/2SIQvY>)
- [3] Böhm, M.; Paltian, A.; Schleede, M.; Voigt, B.; Winckler, M.: Erfahrungen mit der Gleisfeldvernetzung im Digitalen Knoten Stuttgart (Teil 1), SIGNAL+DRAHT 4/2023 (<https://bit.ly/41Mkgb>)
- [4] 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/3plqJhR>)
- [5] Exemplarisch: Castano, A.; Hartmann, R.; Lay, E.; Tomaschko, O.; Walf, F.; Weinhold, T.: Umtrassierung des Nordkops Ulm während der Bauausführung, DER EISENBAHNINGENIEUR 12/2022 (<https://bit.ly/40r0x0P>)
- [6] Hernández, L.; Hardel, S.: Schaltabschnittsgrenzen und Bahnübergänge schränken Kapazitätseffekt von ETCS Level 2 ein, SIGNAL+DRAHT 1+2/2023 (<https://bit.ly/40AY6br>)
- [7] Fassing, J.; Helwig, M.; Müller, P.; Keil, T.; Rosenbohm, M.; Walf, F.; Welsch, P.: Generalsanierung der Riedbahn: eine Zwischenbilanz, DER EISENBAHNINGENIEUR 7/2023 (<https://bit.ly/3Z5ws7u>)
- [8] DB Netz: Licht und Schatten: Eindrücke aus dem Digitalen Knoten Stuttgart. Vortrag TU Dresden, 15. Juni 2023 (<https://bsu.link/dks-folien>), S. 36 f.
- [9] Klaus, C.: Die digitale LST-Planung (PlanPro) als Wegbereiter der Digitalen Schiene, SIGNAL+DRAHT 1+2/2020 (<https://bit.ly/44tcvbu>)
- [10] <https://de.wikipedia.org/wiki/PlanPro>, abgerufen am 16. September 2023
- [11] Bachmann, V.; Lehmann Ibáñez, P.; Oetting, A.; Pejic, M.; Üyümez, B.; Vogel, S.: Teilautomatisierte ETCS L2-Planprüfung durch Formalisierung des Regelwerks, DER EISENBAHNINGENIEUR 8/2022 (<https://bit.ly/46b9iP2>)
- [12] Kretschmer, E.: Regelbasierte digitale ETCS-Planung. Beitrag zur Digital Rail Summer School, Juni 2022 (<https://bit.ly/3PJfGru>)
- [13] Glowinski, D.: Das Netz-Infrastrukturdatenmanagement bei der neu organisierten DB Netz AG, DER EISENBAHNINGENIEUR 8/2001
- [14] Heinrich, T.: Erhalt und Pflege des geodätischen Raumbezugssystems DB_REF, DER EISENBAHNINGENIEUR 9/2012
- [15] Vereinbarung zur Finanzierung von Beschleunigungsmaßnahmen im Rahmen der digitalen Schiene. Finanzierungsvereinbarung F 21 Q 0773 vom Dezember 2021 (<https://bit.ly/3YZ13DD>)
- [16] 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>)
- [17] 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>)
- [18] Siemens Mobility: Siemens Mobility liefert 28 Mireo-Regionalzüge für Baden-Württemberg. Presseinformation vom 10. August 2023 (<https://bit.ly/3LjBHe2>)
- [19] Exemplarisch: Vereinbarung zur Finanzierung von Planungs- und Baukosten für ETCS/DSTW-Ausrüstung des Starterpakets DSD (Pilotprojekt Digitaler Knoten Stuttgart). Finanzierungsvereinbarung F 08 Q 0770, Anlage 1.2a, Ziffer 4
- [20] ebenda, Ziffer 5
- [21] Exemplarisch: [15], Anlage 1, S. 4
- [22] Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg: Vorschlag eines Ausbaupaketes für den Eisenbahnknoten Stuttgart 2040. März 2023 (<https://bit.ly/3EZAnhl>)
- [23] Achilles, A.; Behrooz, A.; Beyer, M.; Lehmann, F.; Lies, R.; Schleede, M.; Trenchel, D.; Wanstrath, S.: Die Digitalisierung der S-Bahn-Stammstrecke Stuttgart (Teil 1), SIGNAL+DRAHT 9/2023
- [24] Celik, M.; Ketszem, R.: Vorstellung LST-Planungswerkzeug safeTPlan. Foliensatz zur 27. Sicherungstechnischen Fachtagung der TU Dresden
- [25] Lübs, J. O.; Klaus, C.; Maschek, U.; Trenchel, D.: Erkenntnisse aus erster prototypischer Planung für ETCS Level 2, DER EISENBAHNINGENIEUR 1/2022 (<https://bit.ly/3LEgtHP>)
- [26] Schurig, J.; Schaarschmidt, V.: Stellwerksplanung für die ABS Knappenro-

- de – Horka (Grenze), DER EISENBAHNINGENIEUR 11/2019 (Beschrieben wird die „konventionelle“ Stellwerksplanung, auf die ETCS aufgesetzt wurde und zu der eine prototypische Parallelplanung mit PlanPro im Gang ist.)
- [27] Bojic, M.; El-Haji-Sleiman, H.; Flieger, M.; Lies, R.; Osburg, J.; Retzmann, M.; Vogel, T.: ETCS in großen Bahnhöfen am Beispiel des Stuttgarter Hauptbahnhofs, SIGNAL+DRAHT 4/2021 (<https://bit.ly/3fiozoI>)
- [28] Frein von Armin, G.: Bf Scheibenberg: Erstellung einer digitalen LST-Planung in PlanPro und ProSig 7. (<https://bit.ly/453ful1>). Foliensatz vom 28. September 2021
- [29] Hinze, E.; Hüser, S.; Kaiser, F.: „tecWatch“ – Technische Überwachung für digitale Bahnsysteme, SIGNAL+DRAHT 12/2022
- [30] Vaatz, A.; Dumitsch, R.: 360°-Multisensorplattform – Gleisgebundene Datensammlung, DER EISENBAHNINGENIEUR 4/2023 (<https://bit.ly/3EDZotA>)
- [31] Hinz, S.; Vögtle, T.; Wursthorn, S.: Digitale Bildbearbeitung und Geoinformation. Wichmann-Verlag, 5. Auflage 2019, ISBN 978-3-87907-638-3
- [32] Exemplarisch: Berner, T.; Frye, C.; HENZLER, L.; Reinhart, P.; Schäfer, D.; Walf, F.: Der Pfaffensteigtunnel nimmt Kontur an, DER EISENBAHNINGENIEUR 11/2022 (<https://bit.ly/3UmnvCv>)
- [33] Frank, C.: Durchgängig digital planen in der Leit- und Sicherungstechnik, SIGNAL+DRAHT 1+2/2023 (<https://bit.ly/3PR7qpn>)
- [34] § 18 (1a), Punkt 2 des Allgemeinen Eisenbahngesetzes (AEG) in der Fassung vom 26. Juli 2023
- [35] Die Digitalisierung der S-Bahn-Stammstrecke Stuttgart (Teil 2), SIGNAL+DRAHT 12/2023
- [36] Skowron, F.; Treydel, R.: Blöcke waren gestern – Chancen einer zugzentrierten LST, DER EISENBAHNINGENIEUR 11/2022 (<https://bit.ly/3UXNYah>)
- [37] Bolay, R.: Haltfallbewertung unter ETCS. Diplomarbeit TU Dresden 2023 (<https://bit.ly/3NanwsZ>)
- [38] Ohmayer, R.: Optimierung von Überholvorgängen mit digitaler Leit- und Sicherungstechnik. Bachelorarbeit Mai 2022 (<https://bit.ly/3BbuPIR>)
- [39] 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>)
- [40] Bundesministerium für Digitales und Verkehr: Entwicklung neuer Verfahren zur automatisierten Trassenoptimierung von Bahnanlagen – TRIM. <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/trim.html>, abgerufen am 16. September 2023



Marc Behrens

Grundsätze LST/DSTW/ETCS/ATO
DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH,
Stuttgart
marc.behrens@deutschebahn.com



Falk Berger

Spezialist im Fachdienst Vermessung
DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH,
Stuttgart
falk.f.berger@deutschebahn.com



Martin Falk

Expert Geodäsie
DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH,
Stuttgart
martin.falk@deutschebahn.com



Christoph Klaus

Referent
LST-Grundsätze Stellwerkstechnik
DB Netz AG, Berlin
christoph.klaus@deutschebahn.com



Holger Nehmsch

Ingenieur für Eisenbahnsignalplanung
SafeTrail GmbH, Dippoldiswalde
holger.nehmsch@safetrail.de



Raul Ketszem

Softwarearchitekt
SafeTRail GmbH, Saarbrücken
raul.ketszem@safetrail.de



Tobias Mayerle

Planung Leit- und Sicherungstechnik
DB Engineering & Consulting GmbH,
Stuttgart
tobias.mayerle@db-eco.com



Frank Rupp

Fachexperte Trassierung,
Gleisgeometrie
DB Engineering & Consulting GmbH,
Karlsruhe
frank.f.rupp@db-eco.com