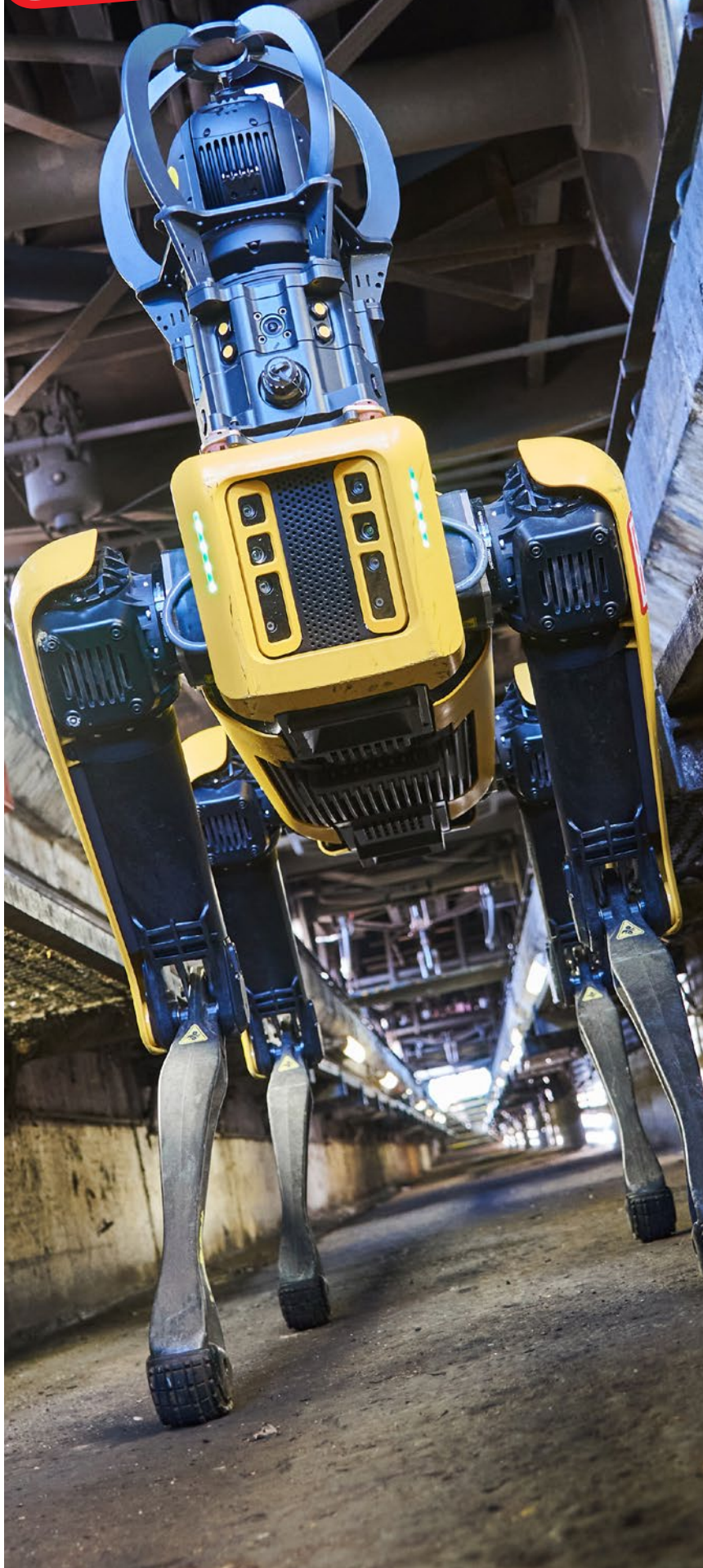


MUSTER



DER **EI** EISENBAHN INGENIEUR

INTERNATIONALE FACHZEITSCHRIFT
FÜR SCHIENENVERKEHR & TECHNIK

Gleisbaumaschinen –
Einsparungen bei Energie und
Emissionen durch E-Antrieb

DB FZI –
Langfristplanung in der
Instandhaltung der DB

ATO –
Weiterentwicklung der
betrieblichen Regelwerke

Radverschleiß –
Predictive Maintenance
dank Digitalem Zwilling

Anschlussbahnen –
Wie kann ein zeitgemäßes
Regelwerk ausgestaltet sein

VDEI

14. Tiefbaufachtagung

14. – 15. Februar 2024
in Radebeul

HERAUSGEBER
VERBAND DEUTSCHER
EISENBAHN-INGENIEURE E.V.

VDEI

Eurail
press

Archiv

MUSTER

Ohne Umwege zu Ihren Fachartikeln

Jetzt upgraden und Zugriff auf das **gesamte Eurailpress-Archiv + DER NAHVERKEHR** erhalten!

Abonnenten
erhalten bis zu
**50 %
Rabatt**



 35.000 Beiträge

 laufende Aktualisierung

 individuelle Suchoptionen

 Volltextsuche

 Sofort-Download

DER **EI**
EISENBahn
INGENIEUR

ETR
ELEKTROTRIEBWERKE
KOMPENDIUM

EIK
ELEKTROTRIEBWERKE
KOMPENDIUM



Rail
BUSINESS

bahn
manager

GUTERBAHNEN
Güterverkehr & Logistik

DER NAHVERKEHR
Regionalverkehrsunternehmen in Deutschland

Eurail
press

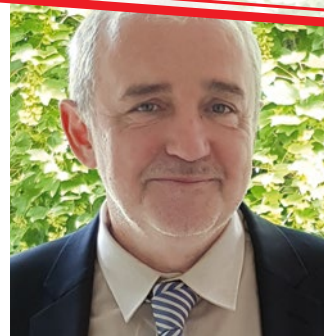
www.eurailpress.de/upgrade-archiv

Archiv

MUSTER

» Und täglich grüßt das Murmeltier «

Dr.-Ing. Gerd Grütze, Geschäftsführer
der edilon)(sedra GmbH



Fachkräftemangel überall und zunehmend gefährlich!

Wir alle bekommen immer mehr die Auswirkungen des Fachkräftemangels zu spüren. An einem Tag beim Einkauf oder Arzt, am nächsten Tag am Bahnhof oder in den Ämtern. Überall wird händeringend qualifiziertes Personal gesucht. Nun ja, vielleicht nicht in der Branche der Influencer, das aber ist ein eigenes Thema.

Die Gründe für die angespannte Situation auf dem Arbeitsmarkt sind vielschichtig und werden bereits intensiv in Gesellschaft, Wirtschaft, Politik und Medien diskutiert. Zusätzliche Themen werden die Entwicklungen noch weiter zuspitzen, und diese Verschärfung hat durchaus das Potenzial, den Wirtschaftsstandort Deutschland in ernsthafte Schwierigkeiten zu bringen.

Wir alle müssen uns neben unserem Alltag schnellstmöglich dieser Herausforderung stellen. Lassen Sie uns pragmatische und mutige Entscheidungen treffen, um unsere Unternehmen, unsere Wirtschaft und letztlich unseren Wohlstand nicht weiter zu gefährden. Aktionismus und altbekannte Wege, wie Abwerbungen, Überbietung bei Gehältern oder Sozialleistungen sowie kürzere Arbeitszeiten werden sicherlich nicht die Lösung für den Fachkräftemangel sein.

Innovative, agile Unternehmen sind gefragt, die Menschen begeistern und nicht nur den eigenen Profit in den Fokus der Unternehmensstrategie stellen. Nachhaltige, soziale Konzepte überzeugen ebenso wie zukunftsfähige Produkte und spannende Perspektiven, um etwas in der Welt von morgen zu bewegen. Es gilt moderne Verkehrskonzepte zu gestalten, vermehrt in Verbindung mit ganzheitlichen Stadtentwicklungskonzepten, um die zunehmende Verkehrsbelastung im dicht besiedelten urbanen Lebensraum positiv zu gestalten. Wir arbeiten per se in einer nachhaltigen und zukunftsorientierten Branche, daher sehe ich es als unsere Aufgabe, Fachkräfte auf die Visionen und Konzepte der Bahnbranche aufmerksam zu machen.

Die Personalsuche beginnt heute schon an den Hochschulen und Universitäten, vielleicht sogar schon viel früher. Das Unternehmen edilon)(sedra engagiert sich bereits seit Jahren intensiv für die Nachwuchsförderung durch eine enge Zusammenarbeit mit Hochschulen und Universitäten. Aber auch hier gilt, vom ersten Moment an muss das Unternehmen überzeugen, um gut ausgebildete Fachkräfte für sich zu gewinnen. Das HR-Marketing wird in den nächsten Jahren eine immer größere Rolle spielen. Kreative Tools wie eine Direktansprache, auch als Active Sourcing bezeichnet, bieten neue Chancen.

Ich bin überzeugt, dass ein gutes, menschliches Betriebsklima ein weiterer wesentlicher Faktor ist, um engagierte, leistungsorientierte sowie kreative Köpfe zu gewinnen. Menschen, die sich in unseren Unternehmen wohlfühlen und ihnen langfristig loyal verbunden sind. Gerade hier können kleine und mittelständische Unternehmen gegenüber großen Global Playern punkten. In Zeiten des Fachkräftemangels ist es daher umso wichtiger, sich als Arbeitgeber der Zukunft zu präsentieren, der eine langfristige Personalplanung umsetzt und einen kommunikativen Führungsstil pflegt. Allein auf Work-Life-Balance, Homeoffice oder monetäre Anreize zu setzen, wird mittel- und langfristig keine Loyalität, Kreativität oder Unternehmensbindung bei Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bewirken.

Viel Erfolg für das Jahr 2024, vor allem Gesundheit und Frieden, wünscht Ihnen

MUSTER



Univ.-Prof. Dr. Ferdinand Pospischil, Chefredakteur

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

das neue Jahr hat begonnen, und ich freue mich, Sie gemeinsam mit meinen Kolleginnen und Kollegen der EI-Redaktion hier im EI zur Ausgabe 01/2024 begrüßen zu dürfen.

So einfach die Benutzung des Bahnsystems sein sollte, so komplex gestalten sich Planung, Bau und Betrieb im Detail. Um hier den Überblick zu behalten und gleichzeitig fundierte Entscheidungen treffen zu können, steht Ihnen der VDEI zur Seite. Ob durch die Angebote der VDEI-Akademie, Schulungen, Vorträge oder die Artikel in „DER EISENBAHNINGENIEUR“ – wir setzen uns besonders hier weiterhin für Sie ein und arbeiten an hochqualifizierten Fachbeiträgen. Zudem freuen wir uns auf Ihre konstruktiven Anmerkungen und Beitragsvorschläge.

In dieser Ausgabe gewähren wir Ihnen Einblicke in die Digitale Bahn, unter anderem mit Beiträgen zur Leit- und Sicherungstechnik mit ETCS sowie zu den Themen des automatisierten Betriebs, der digitalen Radinstandhaltung und der automatisierten Platzierung von Gleisfreimeldeanlagen. Das Team der Streckenerneuerung Fürth-Würzburg zeigt Ihnen, wie es möglich war, auf einer der am stärksten belasteten Strecken eine erfolgreiche Streckensanierung durchzuführen.

Genau dieser Mix, den wir Ihnen hier monatlich präsentieren, motiviert und fasziniert mich jeden Tag aufs Neue, mich für das Bahnsystem einzusetzen und fachübergreifende Diskussionen zu führen. Um langfristig jedoch auch Wirkung zeigen zu können, bedarf es etwas, was unsere Nachbarländer (AT, CH und L) bereits seit einigen Jahren haben – und das wäre mein Wunsch für 2024: eine langfristig gesicherte Finanzierung der Eisenbahn.

Ich wünsche Ihnen eine spannende Lektüre, ermutige Sie, die Zukunft aktiv mitzugestalten, und hoffe, dass Sie auch in diesem Jahr gesund bleiben!

Ihr



DER EISENBAHNINGENIEUR
INTERNATIONALES MONATSMAGAZIN FÜR EISENBAHNLEUTE

Übersichtsumschau
 - Straßensignale des ETCS-Systems
 - Einsatz von Drohnen zur Inspektion von Brücken

DB-FD
 - Leitungsplanung der Instandhaltung der DB

ATO
 - Betriebsanforderungen der automatisierten Platzierung

Radinstandhaltung
 - Produktivitätssteigerung durch digitale Zustellung

Arbeitsverfahren
 - Wie kann ein schwieriges Regelwerk ausgeglichen sein?

VDEI
 - VDEI Fachschriftenverlag
 - VDEI Fachschriftenverlag
 - VDEI Fachschriftenverlag

Text zum Titelbild:

Der Laufroboter „Spot“ wird im Instandhaltungswerk in Mainz-Bischofsheim bei der DB Cargo getestet. Ein Anwendungsfall ist die Sichtprüfung der Radsatzwellen in der Wartungsgrube.

Foto: DB AG/S. Wildhirt

MUSTER

DER EISENBAHN INGENIEUR



49

STANDPUNKT

Gerd Grütze

- 03 Fachkräftemangel überall und zunehmend gefährlich!**

AUSBLICK

Marcel Jelitto

- 06 TSI & Co: Wie können wir die Europäisierung der Bahnen voranbringen?**

FACHBEITRÄGE

Florian Bauer | Armin Klaffki | Markus Neubert | Michael Fritsch

- 10 Erneuerung der Strecke Fürth – Würzburg**

Thomas Radler | Lukas Hofmann | Christian Koczwarra | Markus Buchner

- 15 Energieeffizient und emissionsarm stopfen**

Jakob Schelbert | Steffen Kasper

- 19 Strategische Langfristplanung bei der DB Fahrzeuginstandhaltung**

Sebastian Willbrecht | Martin Ruscher | Tobias Bregulla | Michael Heinz | Till Tegtmeier | René Heyder | Michael Beitelschmidt | Arnd Stephan

- 26 Ein Digitaler Zwilling zur Prognose von Radverschleiß**

Lars Schnieder

- 31 Entwicklung von Regelwerken für den automatisierten Betrieb**

Stefan Gaidler | Thomas Gerstenmayer

- 35 ÖBB digitalisieren Weststrecke zwischen Linz und Vöcklabruck**

Ulrich Maschek

- 40 Algorithmus zur automatischen Platzierung von Gleisfreimeldegrenzen für LST-Planungswerkzeuge**

Richard Kretzschmar

- 44 Die Bausteine der Digitalen LST**

Armin Müller | Dietmar Litterscheid

- 49 Interoperabilität auf der ersten und letzten Meile im Schienengüterverkehr**

RUBRIKEN

- 53 Veranstaltungen | Bahn-Nachrichten**

- 63 Personalia**

- 64 Impressum**

- 65 Rail-Web-Weiser**

- 68 Industrie-Report**

VDEI

- 68 VDEI-Veranstaltungen**

- 72 VDEI-Nachrichten**

Wir möchten hiermit darauf hinweisen, dass wir in den Fachbeiträgen aufgrund der besseren Lesbarkeit entweder die männliche oder weibliche Form von personenbezogenen Hauptwörtern wählen. Wo möglich verwenden wir geschlechtsneutrale Alternativen. Meinungsbeiträge können auf ausdrücklichen Wunsch der verfassenden Person von dieser Regel ausgenommen sein. Dies impliziert keinesfalls eine Benachteiligung anderer Geschlechtsidentitäten.



Eurailpress Fachartikelarchiv

Alle Beiträge mit diesem Symbol sind unter www.eurailpress.de/archiv/ dauerhaft hinterlegt. Finden Sie weitere Aufsätze der Autoren oder nutzen Sie die Volltextsuche für Ihren individuellen Informationsbedarf. Abonnenten steht dieses Angebot kostenlos zur Verfügung.

Mehr Verkehr auf die Schiene! Das ist ein wichtiges Ziel der europäischen Eisenbahnpolitik, welches nicht nur aus Klimaschutzgründen erforderlich ist. Eine wichtige Voraussetzung ist dabei, dass die Eisenbahn auch grenzüberschreitend „funktioniert“, bspw. ohne einen zeitraubenden Wechsel des Triebfahrzeuges bei grenzüberschreitenden Zügen an den Landesgrenzen – sei es im Personenfern- als auch im Güterverkehr.

Um dies zu erreichen, wurden 2002 die ersten „Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität“ (TSI) veröffentlicht.

Sie definieren einheitliche Standards für verschiedene Teilsysteme (bspw. Infrastruktur, Verkehrsbetrieb- und Verkehrssteuerung, Energie) des europäischen Eisenbahnsystems.

Damit ist sichergestellt, dass das zukünftige Eisenbahnsystem weiter zusammenwächst und immer mehr interoperabel wird. Jedoch sind die Eisenbahnen auch heute angehalten, zusätzliche Ideen und Maßnahmen zu initiieren, wie die Zusammenarbeit über die Landesgrenzen verbessert werden kann, denn: Eisenbahn in Europa funktioniert nur gemeinsam!

Marcel Jelitto, Chefredakteur

TSI & Co: Wie können wir die Europäisierung der Bahnen voranbringen?



Seit dem 28. September 2023 ist das Paket 2022/2023 der Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI) in Kraft, ein Meilenstein für die europäische Eisenbahnlandschaft. Unter anderem mit der Einführung der „Unique Authorisation“ (einmalige Genehmigung) für

Passagierwaggons nach Vorbild der Güterwaggons im September haben wir 2023 wieder entscheidende Schritte in Richtung harmonisierter Standards und den Abbau technischer und betrieblicher Barrieren gemacht.

Im Vorfeld der Neuwahlen zum Europäischen Parlament im Jahr 2024 hoffen wir darauf, dass die Politik des „Green Deals“ fortgesetzt wird. Um den Trend des schwindenden Modalanteils der Bahn im Personen- und Güterverkehr zu stoppen, müssen verstärkt politische Maßnahmen zur Stärkung der nachhaltigen Mobilität gesetzt werden. Die Genehmigung neuer Nachtzüge im Jahr 2023 durch die ERA eröffnet die Möglichkeit, das Nachtzugnetz auszubauen und die umweltfreundliche Alternative zu Flugreisen zu stärken.

Die Förderung des Kombinierten Verkehrs und eine verbesserte Anbindung an Häfen sind Schlüsselfaktoren für eine effiziente Logistik. Gleichzeitig müssen wir Fortschritte auf dem Weg zu einer

zuverlässigen Digitalen Automatischen Kupplung (DAK) erzielen, um den Eisenbahnverkehr weiter zu optimieren.

Die beschleunigte Einführung des European Rail Traffic Management Systems (ERTMS) ist von entscheidender Bedeutung, um die Sicherheit und Effizienz des grenzüberschreitenden Schienenverkehrs zu gewährleisten. Dies erfordert gemeinsame Anstrengungen aller Mitgliedstaaten. Die Stärkung europaweit einheitlicher Regeln und der Abbau nationaler Vorschriften sind unabdingbar, um die Integration der europäischen Bahnen voranzutreiben.

Abschließend möchte ich auf die drohenden Kapazitätsengpässe durch die „Generalsanierung“ des deutschen Schienennetzes hinweisen. Deutschland als wirtschaftlicher Motor und Haupttransitland Europas ist von essenzieller Bedeutung für den Ruf der europäischen Bahnen – in den nächsten Jahren wird der Grundstein für zukünftige, nachhaltige Belastbarkeit und Leistungsfähigkeit gelegt. Das darf nicht zu negativen Schlagzeilen führen!

Es liegt an uns, gemeinsam die Weichen für eine erfolgreiche und nachhaltige Zukunft der europäischen Bahnen zu stellen. Lasst uns die Herausforderungen als Chancen begreifen und die Eisenbahn als Rückgrat einer nachhaltigen Mobilität in Europa stärken.

**Josef Doppelbauer, Exekutivdirektor
Eisenbahnagentur der Europäischen Union (ERA)**

MUSTER



Europäisierung ist mehr als Technik. Die große Begeisterung, mit der das neue grenzüberschreitende Nachtzugangebot aufgenommen wurde, zeigt, dass die Menschen die Bahn auch für lange, grenzüberschreitende Strecken nutzen möchten. Wir brauchen mehr Angebote, die eine echte Alternative zum Flug sind. Und auch „im kleinen Grenzverkehr“ muss sich was tun. Die Wünsche der Pendler sind zum Teil so einfach wie kompliziert: Abgestimmte Fahrpläne, zweispra-

chige Ausschielderungen. Das neue VDEI-Netzwerk Europäisierung der Eisenbahn hat in kurzer Zeit viele Interessenten angezogen und steht im engen Austausch mit dem Deutsch-Französischen Netzwerk des Verbandes, da Probleme und Herausforderungen oft vergleichbar sind. Voneinander lernen, Lösungsansätze übertragen: Synergien bilden, um mit beschränkten Ressourcen das Mögliche rauszuholen, um so den Bahnverkehr europäischer zu machen.

Prof. Dr.-Ing. Birgit Milius, Leiterin des Fachgebiets Bahnbetrieb und Infrastruktur (BBI) der TU Berlin und Präsidentin des VDEI



Erfolgreicher Schienenverkehr braucht die Europäisierung! Das Deutschlandticket hat gezeigt, dass ein gutes Angebot mehr Menschen in die Züge bringt. Für internationale Verkehre braucht es aber nicht (nur) ein gutes Ticket. Es bedarf vor allem des unkomplizierten grenzüberschreitenden Fahrens, und zwar für den Personen- und Güterverkehr gleichermaßen. Die technische und betriebliche Harmonisierung der Bahnsysteme über die TSI bildet ohne Zweifel die wesentliche Grundlage. Aber den entscheidenden Wettbewerbsvorteil wird das „& Co“ liefern: der länderüber-

greifende Einsatz digitaler Innovationen. Wir setzen uns darum auch für die europaweite Einführung der Digitalen Automatischen Kupplung, den harmonisierten Einsatz von Building Information Modeling (BIM) als gemeinsames Werkzeug von Planern, Zulassern, Betreibern und Überwachern, oder auch gemeinsam genutzte Software für das Störungsmanagement ein. Denn das sind echte Gamechanger. Diese Innovationen stärken das europäische Gesamtsystem Schiene und bieten gleichzeitig Nachwuchskräften neue (oder spannende?) Chancen.

Prof. Dr.-Ing. Corinna Salander, Leiterin Abteilung Eisenbahnen im Bundesverkehrsministerium (BMDV)



Die Digitalisierung eröffnet die Chance, Betriebsabläufe mit einer europäischen Fahrdienstvorschrift zu vereinheitlichen. Dafür müssen wir zügig ein betrieblich-technisches Zielbild für Europa im System Pillar von Europe's Rail Joint Undertaking entwickeln und in die TSI überführen.

Darüber hinaus gilt es, Kapazitätsmanagement und Verkehrssteuerung auf Basis der Sektor-Konzepte RailNetEurope Time Table Redesign (TTR) und European Traffic Management Network (ETMN) für ganz Europa anzugleichen.

Der Vorschlag der EU-Kommission für eine entsprechende EU-Verordnung schafft auch die Rechtsgrundlage für den Deutschlandtakt, der langfristig zum Europatakt wird.

Klar ist: Schienenverkehr kann in Europa nur wachsen, wenn der Investitionsrückstau auf den europäischen Korridoren angegangen wird. In Deutschland sanieren wir daher zentrale Abschnitte sechs europäischer TEN-Korridore bis 2030 zu einem Hochleistungsnetz. Gleichzeitig muss der ERTMS-Roll-out beschleunigt werden und bis 2040 das TEN-Gesamtnetz umfassen.

Dr. Philipp Nagl, Vorstandsvorsitzender DB Netz AG



Die Schiene verbindet Menschen, Regionen und Unternehmen in ganz Europa. Heute wird an Grenzen teils noch die Lok ausgetauscht, doch die Digitalisierung katalysiert Schienenmobilität in ein neues Zeitalter: Das digitale Leitsystem ETCS bewegt noch mehr Menschen und Güter auf bestehenden Strecken, in Highspeed und über Grenzen hinweg. Doch ein kohärentes europäisches Bahnnetzwerk ist nur teilweise eine Frage der Technik. Es ist auch eine Übung des politischen Zusammenhalts. Zur Sicherstellung der Interoperabilität im Schienenverkehr gelten Technische Spezi-

fikationen für funktionale und strukturelle Teilsysteme im Europäischen Wirtschaftsraum (TSI). Die letzte Verordnung trat im September 2023 in Kraft – entscheidende Anhänge, beispielsweise zum neuen Kommunikationssystem FRMCS, bleiben jedoch offen. Für die Bahnindustrie besteht somit eine große Unsicherheit, die eine kosten- und zeitsparende Produktion erschwert. Nationale Grenzen nahtlos zu überfahren, setzt auf der Schiene den industriellen Roll-out neuer, digitaler Technologien voraus. Klare und stabile Regeln fördern eine effiziente Umsetzung und schaffen Raum für die europäische Eisenbahn der Zukunft.

Sarah Stark, VDB-Hauptgeschäftsführerin



Die Eisenbahnverkehrsunternehmen arbeiten schon heute europäisch: Jeder zweite Güterzug überfährt mindestens eine Grenze.

Dennoch sinkt der intermodale Marktanteil des Schienengüterverkehrs mit steigender Distanz im grenzüberschreitenden Verkehr. Zu viele Verkehre scheitern an den schwierigen Bedingungen an den Grenzen: Unterschiedliche Betriebsvorschriften, Sprachbarrieren und Leit- und Sicherungstechniken verbrauchen enorme personelle und finan-

zielle Ressourcen. Auch ein einheitlicher, internationaler Triebfahrzeugführerschein in Europa fehlt. Die Europäisierung der Bahnen benötigt folglich einen politischen Schulterschluss. Neben dem Ausbau der Infrastruktur und der Schaffung fairer Rahmenbedingungen ist ein wichtiger Aspekt die Vereinheitlichung von Standards. Dass die Einführung von TAF/TAP TSI ausgerechnet in Deutschland, in Zeiten knapper Netzkapazitäten, immer weiter verschoben wird, stellt ein enormes Hemmnis dar.

Ludolf Kerkeling, Vorstandsvorsitzender des Netzwerks Europäischer Eisenbahnen (NEE)



MUSTER

**You'll never
work alone.**

Mehr Infos auf www.schweerbau.de

SCHWEERbau

Erneuerung der Strecke Fürth–Würzburg

Mit der Sanierung der vielbefahrenen, zweispurigen Trasse Fürth–Würzburg wurde in 16 Wochen das erste und größte von drei Maßnahmenpaketen im Plankorridor Süd realisiert.



Abb. 1: Zahlreiche Dörfer und Städte liegen in direkter Nähe zur Trasse.

Quelle aller Abb.: Spitzke SE

**FLORIAN BAUER | ARMIN KLAFFKI |
MARKUS NEUBERT | MICHAEL FRITSCH**

Die Strecke 5910 Fürth–Würzburg gehört mit einer durchschnittlichen Auslastung von über 100 % und ca. 50 000 Zugfahrten jährlich zu den am stärksten befahrenen Bahnstrecken in Deutschland. Über sie laufen nicht nur im Ein- und Zweistundentakt vier ICE-Verbindungen zwischen Hamburg und Essen nach München sowie von Frankfurt nach Wien, sondern auch eine Vielzahl von Regionalverbindungen, die für die Mobilität der Bevölkerung in diesem Teil Bayerns eine große Bedeutung haben. Ihre Sanierung innerhalb zweier kurzer Zeitfenster stellte nicht nur in Bezug auf die Logistik und die hochsommerlichen Temperaturen während der Hauptbauphase eine Herausforderung dar, sie zeigte als Zusammenführung von insgesamt 38 Einzelprojekten auch ein höchst diverses Anforderungsspektrum.

Teil des Plankorridors Süd

Die Verbindung zwischen Fürth und Würzburg wurde 1865 als Verlängerung von Deutschlands erster Eisenbahnstrecke Nürnberg–Fürth eröffnet. Bereits 26 Jahre später erfolgte der Ausbau der damals noch eingleisigen Strecke zur zweigleisigen Trasse (Abb. 1). Bis zu ihrer vollständigen Elektrifizierung 1954 dauerte es allerdings noch einmal mehr als 60 Jahre. Zwischen 1985 und 1999 wurde die Strecke schließlich im Rahmen des Bundesverkehrswegeplans erneut ausgebaut einschließlich der Ertüchtigung des Abschnitts Neustadt–Iphofen auf eine Streckenhöchstgeschwindigkeit von bis zu 200 km/h. In den Jahren 2014 bis 2016 folgte mit dem Neubau der Aurachtalbrücke bei Emskirchen ein weiterer Schritt zur Modernisierung. Mit einer Gesamtlänge von 95 km, ihren mehr als 80 Bögen sowie 16 Bahnhöfen und Haltepunkten hat die Strecke 5910 Fürth–Würzburg inzwischen eine derartige Relevanz für die Mobilität in der Region und über sie hinaus erlangt, dass sie als „Plankorridor“ klassifiziert ist, sprich: Verspät-

tungen einzelner Züge auf der Strecke führen in einer Weise zu Zugfolgekonflikten, dass sie sich negativ auf weite Teile des Gesamtnetzes auswirken.

Als Folge wurde in der Betriebszentrale (BZ) München ein separates Team zur weit vorausschauenden Zugbeobachtung und -steuerung sowie zur schnellen, klaren dispositiven Entscheidungsfindung geschaffen. Aus dem Ziel, zusätzlich zu dispositiven Maßnahmen die Störanfälligkeit der Strecke durch Investitionsmaßnahmen weiter zu senken, resultierte 2019 die Schaffung eines Sonderbudgets für deren Instandhaltung. Dies war gewissermaßen die Geburtsstunde für das Projekt „Plankorridor Süd“, das sich für die Strecke 5910 in einer Bündelung von 38 Einzelprojekten im Bereich Oberbau äußerte. Damit ist die Sanierung der Strecke Fürth–Würzburg das größte von insgesamt drei Paketen im Plankorridor Süd. Die zwei anderen Projekte wurden im 4. Quartal 2023 beziehungsweise werden Mitte 2024 auf der nördlich anschließenden Strecke 5200 Würzburg–Gemünden realisiert. Für

MUSTER

deren Umsetzung war die fristgerechte Fertigstellung der Arbeiten auf der 5910 eine zwingende Voraussetzung.

Projekt und Projektplanung

Im 2. Quartal 2020 fiel mit der Grundlagenermittlung einschließlich Baugrundgutachten und Kampfmitteluntersuchung auch der planerische Startschuss für die Erneuerung der 5910. Bereits im Folgequartal erfolgten die baubetriebliche Anmeldung und Eintaktung des Projektes sowie die Variantenentscheidung für eine abschnittsweise, 16-wöchige Streckensperrung von Beginn der Pfingstferien bis zum Ende der Sommerferien in Bayern (26. Mai 2023 – 12. September 2023). Das letzte Quartal 2020 war von Planungsbegehungen sowie von Vermessungsarbeiten und der Umweltplanung geprägt. Letztere erstreckten sich bis ins Jahr 2021 hinein und liefen parallel zur Erarbeitung der Entwurfs- und Genehmigungsplanungen. 2022 folgten die Erstellung der Ausschreibungsunterlagen, deren Veröffentlichung (17. Juni 2023), die Submission (26. August 2023) sowie die Vergabe des Projektes an die Spitzke SE als ausführendes Unternehmen am 1. Dezember 2022. In den folgenden knapp sechs Monaten bis zum Beginn der Hauptbauphase am 26. Mai 2023 wurde die Bau- und Logistikablaufplanung in intensiven Abstimmungsrunden weiter konkretisiert. Wie bereits erwähnt, war die Hauptbauzeit auf die Sommermonate 2023 avisiert. Die 5910 wurde dafür allerdings nicht vollständig außer Betrieb genommen, sondern die knapp 16 Wochen Sperrzeit wurden auf zwei Bauabschnitte (BA) verteilt (Abb. 2), sodass der Betrieb für den Regionalverkehr abschnittsweise in eingleisigem Betrieb aufrechterhalten werden konnte. BA 1 erstreckte sich von Rottendorf, östlich angrenzend an Würzburg, bis Neustadt (Aisch) (Sperrung über zehn Wochen vom 26. Mai 2023 bis 6. August 2023), während der Streckenabschnitt zwischen Neustadt (Aisch) und Fürth innerhalb des BA 2 erneuert wurde (Sperrung über fünfeneinhalb Wochen vom 6. August 2023 bis 12. September 2023). Entsprechend erfolgte nach Fertigstellung des BA 1 am 6. August 2023 die Teilbetriebnahme mit eingleisigem Betrieb des Abschnitts sowie nach Ende der Arbeiten im BA 2 am 12. September 2023 die Gesamtbetriebnahme.

Umleiterstrecken, Umweltplanung und Projektfinanzierung

Im Vorfeld der Hauptbaumaßnahmen auf der 5910 wurden die vorgesehenen Umleiterstrecken über Ansbach und Bamberg/Schweinfurt mittels eines eigens konzipierten Instandhaltungsprogramms ertüchtigt, das auch nach der Wiederinbetriebnahme der 5910 fortgeführt wird. Dies war insofern notwendig, da die Auslastung der Ausweichstrecken zur Sperrzeit der 5910 bis zu 150 % betrug



Abb. 2: Gesamtdarstellung des Baufeldes mit Einteilung in Bauabschnitte. Darstellung näherungsweise

und diese daher einer deutlichen Überbeanspruchung ausgesetzt waren. Die bereits angesprochenen Umweltplanungen blieben mit Blick auf insgesamt sechs betroffene Landkreise mit teils unterschiedlichen Auslegungen im Rahmen der für ein derart langes Baufeld zu erwartenden planerischen Aufwände. Einzig hervorzuheben ist das gehäufte Vorkommen des giftigen Eichenprozessionsspinners entlang der Strecke, dessen Nester und Larven vor Beginn der Baumaßnahmen zum Schutz der vor Ort agierenden Personen aufwendig entfernt werden mussten.

Die für die Erneuerung der 5910 zwischen Fürth und Würzburg projektierten Kosten belaufen sich auf ca. 200 Mio. EUR. Im Plankorridor Süd wurden mehrere Einzelprojekte der Jahre 2021 bis 2025 mit dem Ziel gebündelt, die Rückstauquote, also den Anteil überalterter Anlagen, auf unter 10 % zu reduzieren. Auch die Erneuerung der 5910 ist in diesem Kontext zu sehen, da Teile der Strecke unabhängig von den bereits beschriebenen Modernisierungen inzwischen ein beträchtliches Dienstaltes erreicht hatten.

Realisierung in zwei Etappen

Projektumfang und Leistungsspektrum

Die für die Erneuerung der rund 95 Streckenkilometer projektierten Leistungen waren umfangreich und in ihrer Ausprägung ausgesprochen divers. Im Wesentlichen lassen sie sich auf

rund 144 km Gleiserneuerung, den Neuaufbau der Planumsschutzschicht (PSS) über 27 km sowie die Erneuerung von insgesamt 38 Weichen, hier größtenteils ebenfalls mit PSS, subsumieren. Ein Teil dieser Leistungen, insbesondere die Mehrzahl der Weichenerneuerungen, entfiel dabei auf Arbeiten in den insgesamt 16 Bahnhöfen und Überleitstellen der Strecke. Hinzu kamen eine Vielzahl an Maßnahmen, wie bspw. die Erneuerung der Bahnsteige in den Bf Iphofen und Dettelbach sowie der Oberleitungen zwischen den Bf Iphofen und Rottendorf, die Inspektion der Oberleitungsanlagen sowie ein Wechsel des Fahrdrachts in Teilabschnitten nebst zahlreicher Instandhaltungsmaßnahmen in den Bahnhöfen. Lediglich im Streckenabschnitt zwischen den Bahnhöfen Fürth und Siegeldorf (km 0 bis 10) wurden keine Maßnahmen durchgeführt, ebenso um die Aurachtalbrücke (km 22 bis 24) aufgrund ihrer Grunderneuerung in den Jahren 2014 bis 2016.

Bauabschnitt 1

Wie eingangs bereits erläutert, wurde die Sanierung der 5910 in zwei aufeinanderfolgenden Sperrpausen auf aneinander anschließenden Gleisabschnitten realisiert und entsprechend auf zwei BA verteilt. Beide BA ähneln sich in ihrem Leistungsportfolio im Wesentlichen. Unterschiede finden sich eher im Umfang der projektierten Leistungen. Am augenscheinlichsten ist, dass der Abschnitt Rottendorf bis Neustadt (Aisch) (BA 1) mit

MUSTER

Tiefenentwässerung (TE) einschließlich
13 TE-Schächten (Abb. 2)



Abb. 3: Transport für den TE-Neubau vorgesehener Rohrsegmente

rund 60 km deutlich länger war als BA 2 mit ca. 34 km, woraus auch die längere Sperrzeit resultierte. Zudem lagen räumlich 33 der insgesamt 38 für die Revitalisierung vorgesehenen Weichen mit einer Gesamtlänge von 3770 m in BA 1. Bei 22 Weichen sollte zudem die PSS erneuert werden. Der Umfang der projektierten Gleiserneuerung beläuft sich im BA 1 auf insgesamt 92 849 m, davon waren 88 688 m für eine maschinelle Bearbeitung im Fließbandverfahren vorgesehen und 4161 m konventionell mit Zweibe-

schern im Bereich der Bettungsreinigung mit einem Gesamtvolumen von 85 752 m – hier ausschließlich im Fließbandverfahren. Über 7097 m wurde die Bettung zudem vollständig erneuert (konventionell). Hinzu kam eine konventionelle Planumsverbesserung über 3779 m sowie 12 446 m im Fließbandverfahren (Abb. 4). Des Weiteren wurden über 15 412 m Schienen erneuert und weitere 18 100 m außerhalb der Umbaubereiche reprofiliert. Zusätzlich umfassten die Leistungen eine Erneuerung von Brückenbalken über 154 m sowie den Neubau von 709 m

Bauabschnitt 2

Auf dem Streckenabschnitt zwischen Neustadt (Aisch) und Fürth (BA 2) war lediglich eine Weiche zur Erneuerung einschließlich PSS vorgesehen. Die Gleiserneuerung über 40 133 m (38 491 m im Fließbandverfahren, 1642 m konventionell) hatte ebenso wie die projektierte Bettungsreinigung im Fließbandverfahren über 37 367 m einen in Relation zur kürzeren Strecke des BA 2 vergleichbaren Umfang wie die Leistungen im BA 1. Ähnliches gilt für die konventionelle, vollständige Bettungsreinigung über 2766 m sowie die Planumsverbesserung über 8248 m (7264 m im Fließbandverfahren, 984 m konventionell). Auch im BA 2 wurde die TE teilweise neugebaut – hier über 444 m einschließlich zwölf TE-Schächten. Anders als in BA 1 konnte im BA 2 auf eine vollständige Erneuerung von Schienen außerhalb der Umbaubereiche verzichtet werden. Stattdessen wurden insgesamt 20 726 m Bestandschienen reprofiliert. Betrachtet man die Arbeiten, die parallel zur zweiten Sperrpause im Bereich des Hbf Fürth, unabhängig von den Leistungen auf der Strecke, durchgeführt wurden, ließe sich theoretisch sogar von einem dritten BA sprechen. Die Arbeiten in Fürth umfassten im Wesentlichen die Erneuerung von vier Weichen, drei davon einschließlich PSS.

Vorarbeiten

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass das Projekt 5910 von einer ausgesprochen guten planerischen Vorarbeit profitieren konnte. Wie bereits erwähnt, wurden umfangreiche Erkundungen einschließlich abschnittsweiser Bodenradarmessungen vorgenommen. Hintergrund war, dass die Strecke mit einer Dienstzeit von weit über 150 Jahren neben den bereits dargelegten Umbauten und Ertüchtigungen unzählige kleinere und größere Instandhaltungs- und Reparaturmaßnahmen erfahren hat, die nicht zwangsläufig ausreichend Eingang in den Datenbestand gefunden haben – von den Einflüssen der langen Betriebszeit als solcher ganz zu schweigen. Daher war ohne detaillierte Erkundungen nicht abschätzbar, inwieweit die Datenlage mit den tatsächlichen Gegebenheiten im Rahmen der Toleranzen deckungsgleich war. Dies ist insofern relevant, da aufgrund der Gemengelage aus hochfrequentierter 5910 und noch zu ertüchtigender Ausweichstrecken keine maßgeblichen Streckensperrungen für Vorbereitungsarbeiten vor der Hauptbaizeit ermöglicht werden konnten. Entsprechend mussten die für den Betrieb der Gleisbaumaschinen essenziellen Absteckarbeiten im laufenden Baubetrieb durchgeführt werden. Auch hier erwiesen sich die umfassenden planerischen Vorarbeiten als Vorteil, da so der Baufortschritt verhältnismäßig genau prognostiziert und darauf aufbauend der jeweilige Baufeldbereich zur

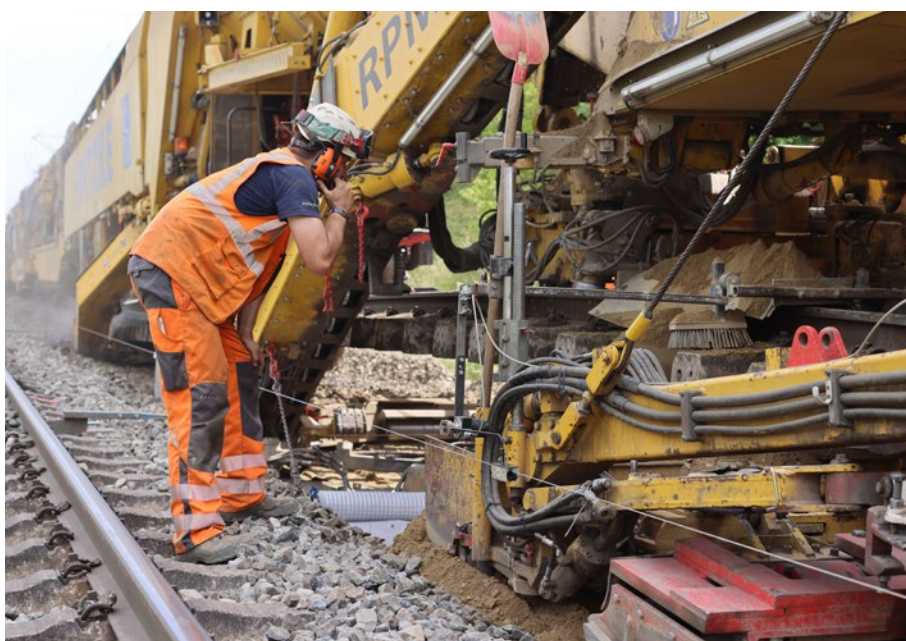


Abb. 4: Planumsverbesserung im Fließbandverfahren



Abb. 5: Vergleich zwischen bereits erneuerter und noch nicht erneuerter Strecke

Erzeugung der Daten für die Arbeiten im Fließbandverfahren rechtzeitig vermessen werden konnte. Entsprechend beliefen sich die eigentlichen Bauvorbereitungen lediglich auf die Erüchtigung der Baueinrichtungsflächen sowie ggf. die Schaffung von Zugängen.

Umsetzung und ihre Besonderheiten, Logistik

Zur möglichst effizienten Umsetzung der Leistungen innerhalb der vergleichsweise knappen Sperrzeiten wurden BA 1 und BA 2 jeweils noch einmal geteilt und von zwei eigens gebildeten Projektteams der Firma Spitzke, vom Baufeldanfang bzw. -ende ausgehend, parallel bearbeitet. Dies hatte zur Folge, dass in der Spitze rund 250 Personen und bis zu sechs Gleisbaumaschinen (zwei Planumsverbesserungsmaschinen, zwei Umbauzüge und zwei Reinigungsmaschinen) zeitgleich im Einsatz waren.

Aufgrund der Zusammenführung einer Vielzahl von Einzelprojekten, aber auch durch die hohe Unterschiedlichkeit des Streckenzustandes und der dahingehend projektierten Leistungselemente, war eine lineare Erneuerung der 5910 nicht umzusetzen, wie es bspw. bei der Sanierung der Schnellfahrstrecke 4080 mit ihrer homogenen Ausgangslage möglich gewesen war. Stattdessen stellte sich die Sanierung der 5910 als „Flickenteppich aneinandergereihter Aufgabenpakete“ mit zum Teil sehr voneinander abweichenden Anforderungen dar, sodass sich mitunter konventionell und maschinell zu bearbeitende Abschnitte in einem Turnus von nur wenigen hundert Metern abwechselten, ergänzt durch eine PSS-Erneu-

erung mit teilweise variierender Tiefe (Abb. 5). Am augenscheinlichsten lässt sich diese Diversität an einem Streckenabschnitt zwischen Kitzingen und Dettelbach zwischen km 74,0 und km 77,7 verdeutlichen, in dem PSS-Stärken zwischen 20 cm und 50 cm eingebaut wurden. Ebenfalls im Bereich zwischen Dettelbach und Kitzingen war der Bahndamm aufgrund der topografischen Gegebenheiten so inhomogen, dass die Planung in einer Richtung bei einer Schottertiefe von ca. 30 cm den Einbau von Spannbetonschwellen des Typs B70 vorsah, während in demselben Abschnitt in der Gegenrichtung Flachswellen (Typ FS 06) verbaut werden mussten, da hier kaum 20 cm Schotterstärke erreicht werden konnte. Diese Herausforderungen aus variierenden, teilweise sehr kleinteiligen Arbeitspaketen zogen sich bis auf wenige Abschnitte, in denen über eine längere Strecke vergleichsweise linear gearbeitet werden konnte, durch das gesamte Projekt.

Auch das hochsommerliche Wetter hatte über die Belastungen für Mensch und Maschine hinaus seinen Einfluss auf das Baugeschehen. Stellenweise hatten sich die Schienen, derart aufgeheizt, dass in Abständen von 360 m ca. 8 cm Schiene herausgetrennt werden mussten, um die Spannung aus der Schiene zu nehmen – stellenweise waren sogar häufigere Entlastungsschnitte nötig. Wäre das nicht erfolgt, hätte das Risiko von Gleisverwerfungen bestanden, wenn z.B. bei der Bettungsreinigung oder der Planumsverbesserung der Vorkopfschotter entfernt worden und dadurch dessen stabilisierende Wirkung entfallen wäre. Daher sah der Bauablauf vor, zuerst die Schot-

terarbeiten mit entsprechend vorgenommener Entlastung der Altschienen durchzuführen und zuletzt den Umbau mit Einbringung der Neuschwellen und Neuschienen und deren anschließender Neutralisierung beim Schweißen vorzunehmen.

In Bezug auf die Zu- und Abfuhr von Materialien setzten DB und Spitzke auf ein Konzept der „kurzen Wege“. Dafür wurden baustellennahe Tarifpunkte (bspw. in Würzburg und Nürnberg) und Lieferanten festgelegt bzw. beauftragt. Zudem wurde seitens Spitzke eigens eine Logistikzentrale in Mainbernheim bei Kitzingen eingerichtet (Abb. 6). Hier konnten rund um die Uhr alle eingesetzten Baumaschinen und Lokomotiven mittels GPS-Tracking verfolgt und entsprechend disponiert werden. Insgesamt standen dafür acht Aufgleismöglichkeiten, vornehmlich im Bereich der Bahnhöfe, zur Verfügung, die ebenfalls während der Sperrzeiten entsprechend vorbereitet werden mussten. Zur Materialversorgung des Baufeldes sowie zum Abtransport des ausgebauten Materials setzte Spitzke insgesamt 14 Lokomotiven ein, die die Materiallogistik auf den nicht gesperrten Streckenabschnitten bzw. um die Tarifpunkte herum durchführten. Entsprechend galt es, trotz Anstiegen von bis zu 12 ‰ im Fahrplan Mindestgeschwindigkeiten einzuhalten, was wegen der hohen Lasten entsprechende Ansprüche an die Traktion stellte. Daher musste entweder die Zuglast reduziert oder die Zugkraft durch das Koppeln mehrerer Lokomotiven erhöht werden. Der parallele Einsatz mehrerer Gleisbaumaschinen an verschiedenen Stellen des Baufeldes beschränkte zudem die Möglichkeiten zum Ein- und Ausgleisen

MUSTER



Abb. 6: Blick in die Logistikzentrale in Mainbernheim mit GPS-gestützter Fahrzeuglokalisierung

bzw. Ein- und Ausfädeln sowie für Verkehre innerhalb des Baufeldes. Dies war insbesondere auch mit Blick auf die unterschiedlichen Arbeitsgeschwindigkeiten von Bedeutung. So erreicht z.B. der Gleisumbauzug UM-S 2001 von Spitzke im Maximum eine Umbauleistung von 250 m/h, während die Planumsverbesserungsmaschine RPM-RS-900 aufgrund ihrer komplexeren Arbeitsvorgänge im Idealfall eine Arbeitsgeschwindigkeit von 100 m/h, je nach Anforderung an die Planumsverbesserung auch deutlich weniger, schafft. Jene bereits angesprochene Unterschiedlichkeit im Leistungsspektrum führte dazu, dass auch die Zuführung von Neuschwellen für die Umbauzüge punktgenau geplant werden musste. Durch die hohe Varianz der zu verlegenden Schwellentypen waren keine zwei Schwellentransporte annähernd identisch beladen, eine gewisse Fehleranfälligkeit war daher gegeben. Um ähnliche Problematiken im Bereich der Weichenerneuerung zu vermeiden, wurden alle Weichenteile erst direkt vor ihrem Einsatz passgenau vormontiert und mittels Gleisbaukran direkt zum Einbauort transportiert. Aufgrund dieser Sachlagen war eine detaillierte Logistikplanung ebenso wesentlich für die fristgerechte Umsetzung des Projektes wie die sehr fein differenzierte Ausführungsplanung.

Fazit

Pünktlich am 12. September 2023 um 04.00 Uhr früh ist die Strecke 5910 zwischen Fürth und Würzburg wieder vollständig in Betrieb gegangen. Ab 2024 greift zudem ein mit entsprechendem Budget versehenes,

nachhaltiges Präventionskonzept, das die Betriebstauglichkeit dieser für den Bahnverkehr wichtigen Strecke auf lange Sicht sichern wird. Ihre erfolgreiche und fristgerechte Sanierung im Sommer 2023 war mit Blick auf die in diesem Artikel dargelegten Gegebenheiten und dem damit verbundenen enormen Koordinierungsaufwand keineswegs ein Selbstläufer. Als Erfolgsfaktor hat sich neben der Kompetenz aller Beteiligten, der detaillierten planerischen Vorbereitung seitens der DB Netz AG und der engmaschigen Bauüberwachung vor allem die konstruktive Zusammenarbeit aller Projektbeteiligten erwiesen, insbesondere in Form der täglichen, auch sonntäglichen, Besprechungen mit der unmittelbaren Konsequenz schneller Entscheidungen. ■



Florian Bauer
 Projektleiter BV Fürth – Würzburg
 Spitzke SE, Erlensee
 florian.bauer@spitzke.com



Armin Klaffki
 Projektleiter BV Fürth – Würzburg
 Spitzke SE, Buchloe
 armin.klaffki@spitzke.com



Markus Neubert
 Projektleiter Plankorridor Süd
 Projektmanagement Oberbau (HLN)
 DB InfraGO AG, Nürnberg
 markus.neubert@deutschebahn.com



Michael Fritsch
 Programmleitung Plankorridor Süd
 Projektmanagement Oberbau (HLN)
 DB InfraGO AG, Nürnberg
 michael.m.fritsch@deutschebahn.com

MUSTER

Energieeffizient und emissionsarm stoppen

Anhand realer, langfristig aufgezeichneter Betriebsdaten kann das Einsparungspotenzial der E³-Technologie bezogen auf Energiebedarf und Emissionen aufgezeigt werden.



Abb. 1: Elektrisch angetriebene Stopfmaschine mit integrierten Zusatzfunktionen wie Schotterplanierung und dynamischer Gleisstabilisation

THOMAS RADLER | LUKAS HOFMANN |
CHRISTIAN KOCZWARA | MARKUS BUCHNER

Die Anforderungen an die Bahnbaubranche sind eindeutig: Nachhaltigkeit und Energieeffizienz, und das nachweisbar. Viele Länder und Betreiber von Bahninfrastruktur haben sich das Ziel gesetzt, bis 2040 klimaneutral zu werden [1–3]. Damit verbunden ist oft eine deutlich früher in Kraft tretende Verpflichtung zur automatisierten maschinenspezifischen Nachweisführung von CO₂-Emissionen (z. B. in Schweden ab 2024 [4]). Neue Antriebskonzepte haben auch im Bahnbau Einzug gefunden, doch eine Frage bleibt: Welchen Beitrag leisten elektrifizierte Bahnbaumaschinen wirklich? Diese Frage wird im folgenden Beitrag anhand statistischer Analysen beantwortet.

Elektrifizierung von Bahnbaumaschinen

Seit einem Jahrzehnt ist Plasser & Theurer (P&T) im Themenkreis neuer Antriebskonzepte Vorreiter. Die Lösung: Elektrifizierung. Schon 2015 präsentierte das Unternehmen die erste elektrisch betriebene Stopfmaschine. Mit der Einführung der E³-Stopfmaschine

war es erstmals möglich, die für Arbeitsbetrieb und Überstellfahrten notwendige Energie klimaschonend aus der Oberleitung zu beziehen. Diese Technologie wurde seitdem sukzessive weiter optimiert, bis hin zu einem System, in dem jegliche Drehbewegung (Fahrtrieb, Antrieb Arbeitsaggregate) elektrisch durchgeführt wird. Abb. 1 zeigt eine moderne elektrisch angetriebene Universalstopfmaschine, die ihre Energie aus der Oberleitung bezieht. Diese Technologie wird bereits in mehreren Ländern eingesetzt. Als nächste logische Weiterentwicklung wurden unterschiedliche Gleisbaumaschinen mit Batterie entwickelt. Die Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) setzen bereits auf diese Technologie und haben 56 emissionsfreie Hochleistungs-Instandhaltungsfahrzeuge mit Hybrid-Antrieb aus Oberleitung und Batterie bestellt. Zusätzlich verfügen diese Fahrzeuge über ein dieselelektrisches Powerpack, das bei fehlender Oberleitung ausreichend Energie bereitstellen kann [5, 6].

Antriebskonzepte

In diesem Beitrag wird der Energieverbrauch (und Treibstoffverbrauch) von zwei kontinuierlich arbeitenden Universalstopfmaschinen (Unimat 09-8x4/4S Dynamic und Uni-

mat 09-8x4/4S Dynamic E³) verglichen (Abb. 2). Beide sind mit baugleichen Stopfaggregaten (Zwei-Schwellen-Stopfaggregat) ausgestattet und verfügen über zwei Dynamische Gleisstabilisatoren (DGS). Der Unterschied liegt im Wesentlichen im Antriebskonzept. Bei der Stopfmaschine Unimat 09-8x4/4S Dynamic (Abb. 2a) handelt es sich um ein Pumpenverteilergetriebe mit konventionellem Dieselmotor. Der Fahrtrieb in Arbeitsfahrt ist hydrostatisch ausgeführt. Alle Vibrationsbewegungen werden über hydraulische Exzenterantriebe realisiert.

Im Gegensatz dazu ist der Unimat 09-8x4/4S Dynamic E³ (Abb. 2b) mit einem modernen Hybrid-Antrieb (elektrisch und dieselelektrisch) ausgestattet. Dieses System ist schematisch in Abb. 3 dargestellt. In dieser Konfiguration kann die Stopfmaschine sowohl dieselelektrisch als auch vollelektrisch betrieben werden. Die notwendige Energie kann entweder über einen Dieselmotor bereitgestellt oder aus der Oberleitung bezogen werden. Neben dem Fahrtrieb werden dabei auch alle rotierenden Arbeitsaggregate elektrisch angetrieben, wodurch sich generell eine höhere Effizienz erzielen lässt. Ein weiterer Vorteil dieses Konzepts ist, dass die Menge an benötigtem Hydrauliköl wesentlich (im Regelfall um ca. zwei Drittel) reduziert wer-