Neue Ansätze für Systeme zum Einsatz in Wachstumsregionen

Das Projekt Flexible, digitale Systeme für den schienengebundenen Verkehr in Wachstumsregionen eruiert neue technische Möglichkeiten für den Bahnbetrieb.

BIRGIT MILIUS | JENS BARTNITZEK | DIRK FRIEDENBERGER | REINHARD KARNAPKE | GWYNETH METTENDORF | BILLY NAUMANN

Die Digitalisierung bietet die Chance, auch in Wachstumsregionen dazu beizutragen, wirtschaftliche und flexible Lösungen für den schienengebundenen Verkehr bereitzustellen. Das Projekt FlexiDug zeigt am Beispiel der Lausitz, wie die Weiterentwicklung für drei technische Schwerpunkte – Digitaler Zwilling, Sensornetzwerke und flexible, digitale Leit- und Sicherungstechnik (LST) – aussehen kann. Dies ist eingebunden in eine allgemeine Betrachtung, wie Nachhaltigkeit, Strukturentwicklung und Bahnverkehr ineinandergreifen können, um erfolgreich zu sein.

Motivation

Die Renaturierung sowie der damit mögliche Strukturwandel der Bergbaureviere ist eine zentrale Herausforderung in der Lausitz. Neben den Maßnahmen zur Renaturierung werden weitere Vorhaben mit Impulsen zur Strukturstärkung in der Region initiiert. Ausbauprogramme für die Schieneninfrastruktur (z. B. Berlin – Cottbus) und die durch die Coronapandemie ausgelöste Flexibilisierung von Arbeit machen es attraktiver, außerhalb von Metropolen zu wohnen. Für die Lausitz ergeben sich daraus aussichtsreiche Entwicklungsperspektiven. Diese müssen mit einer Erweiterung der Verkehrsinfrastruktur einhergehen, um ein breites Mobilitätsangebot und eine gute Anbindung der sich entwickelnden Wirtschafts-, Wissenschafts- und Wohngebiete zu ermöglichen. Aus Nachhaltigkeitsgründen sollten vorhandene Infrastrukturen möglichst weitergenutzt werden. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass der Erfolg für weitere Inbetriebnahmen und Reaktivierungen davon abhängen wird, ob wirtschaftlich tragbare Lösungen für die Bereitstellung von sicherem Bahnbetrieb gefunden werden.

Mit den Schwerpunkten Digitaler Zwilling, Sensornetzwerke und flexible, digitale LST werden unterschiedliche technische Bereiche adressiert, deren Kombination es erlauben wird, eine wirtschaftliche, migrationsfähige Möglichkeit zur Betriebsführung zu entwickeln. Eingerahmt werden diese Arbeitspakete von einer Betrachtung möglicher Verkehrsspinnen, die sich aus einer Nachnutzung bereits vorhandener, zurzeit ggf. ungenutzter Bahninfrastruktur ergeben.

Für das Projekt wurde ein Konsortium bestehend aus der DB Systel GmbH als Tochterunternehmen der Deutschen Bahn AG (DB), der Technischen Universität Berlin mit dem Fachgebiet Bahnbetrieb und Infrastruktur, dem Hasso-Plattner-Institut der Universität Potsdam mit der Professur Betriebssysteme und Middleware, der Technischen Universität Chemnitz mit der Professur für Betriebssysteme, der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg mit der Professur für verteilte Systeme und Betriebssysteme und der A+S Consult GmbH geschlossen. Das Konsorti-

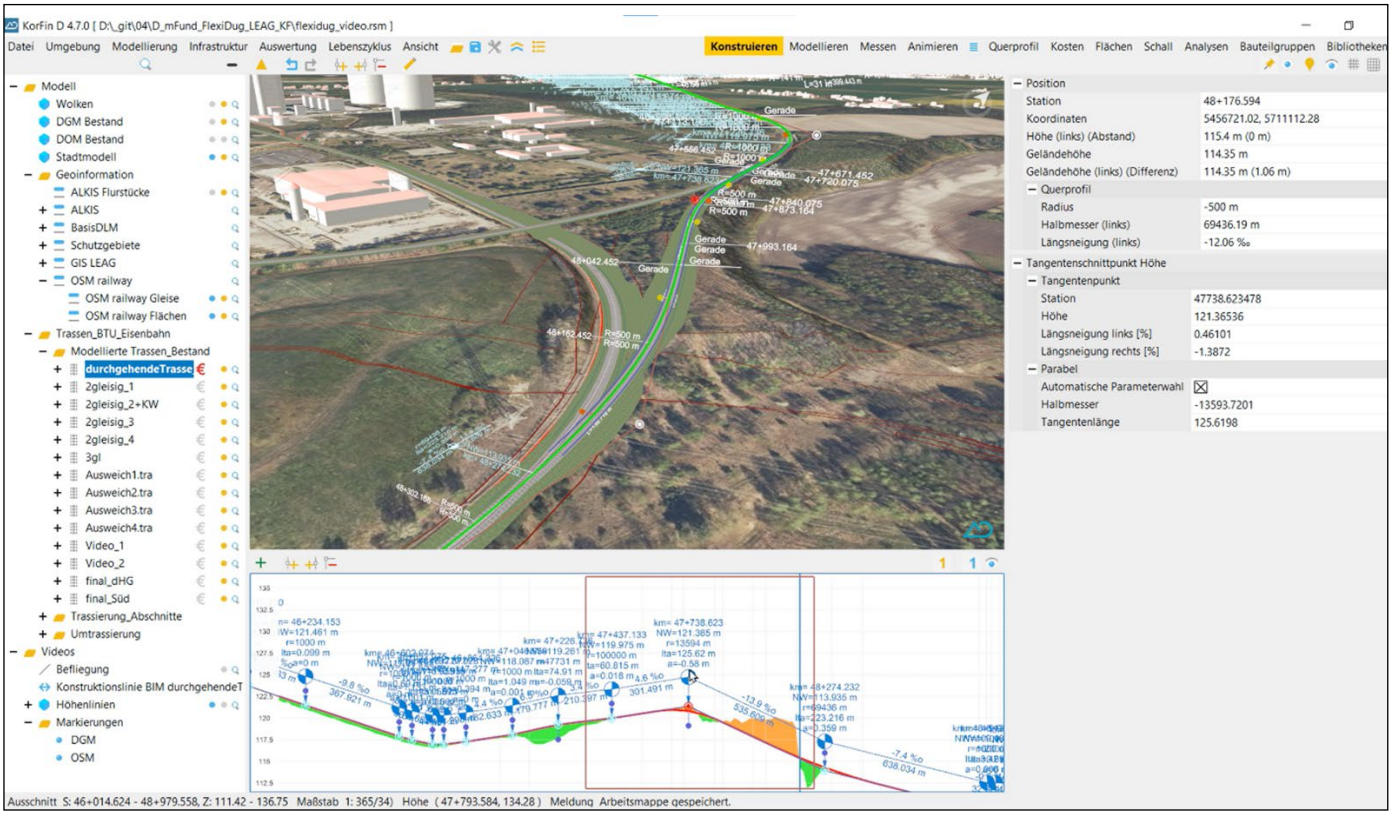

Abb. 1: Auszug aus dem Digitalen Zwilling in der Koordinationsplattform KorFin

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für TU Berlin, A+S Consult GmbH, DB Systel GmbH, Brandenburgische TU Cottbus-Senftenberg, TU Chemnitz / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

um vereint führende Forschungseinrichtungen und regionale Unternehmen, um eine optimale Zusammenarbeit zu gewährleisten. Zusätzlich sind zur Zusammenarbeit assoziierte Partner aus der Region wie die DB Regio Nordost und die Lausitz Energie Bergbau AG/LEAG wichtiger Bestandteil.

Projektziele

Das Projekt gruppiert sich um drei technische Schwerpunkte. Die Motivation für den Schwerpunkt Sensortechnik ergibt sich aus der Notwendigkeit, zu untersuchen, wie mittels Sensorik in dünnbesiedelten Gebieten nicht nur Veränderungen in der Umgebung und an Bauwerken erkannt werden können, sondern darüber hinaus, wie die erfassten Daten energieeffizient und zuverlässig weitertransportiert und ausgewertet werden können. Zusätzlich wird ermittelt, wie verschiedene Sensorik den Eisenbahnbetrieb in der Zugleit- und Sicherungstechnik unterstützen kann.

Digitale Planung wird im gesamten Bahnbereich immer aktueller. Im vorliegenden Projekt ist es vor allem das Ziel, mithilfe von digitalen Modellen und einem Digitalen Zwilling zu zeigen, wie bestehende Infrastruktur erfasst, modelliert und dann in einem weiteren Schritt das entstandene Modell beispielsweise zur Streckenfindung und einem einfachen und zügigen Streckenvergleich genutzt werden kann.

Die Einführung von LST ist streng reguliert. Dies hat zur Folge, dass die Zulassung und Inbetriebnahme sowohl generischer Systeme als auch spezifischer Produkte sehr langwierig ist. Dies bedeutet konkret, dass es schwierig ist, an bestehender LST im Nachhinein komplexere Änderungen vorzunehmen. Dies ist eine Herausforderung für Wachstumsgebiete. Soll schienengebundener Verkehr frühzeitig eingeführt werden, so ist die LST mittelfristig unterdimensioniert, da sich die Planung an der vorhandenen Besiedelung orientiert. Extensivere Technik wäre wirtschaftlich nicht darstellbar. Wird im Umkehrschluss versucht, bereits eine mittelfristige Besiedelung zu antizipieren, ist dies wirtschaftlich nicht darstellbar, und entsprechende Projekte werden nicht umgesetzt. Das Ziel, das sich daraus ergibt, ist eine migrationsfähige LST, die von vornherein darauf ausgelegt ist, mitzuwachsen.

Wir sind dort, wo Ihre Kunden sind.

DER EISENBAHN INGENIEUR

Heft Nr. 10/23

08.11.23
VDEI Gleisforum, Braunschweig

08.11.– 09.11.23
23. Internationaler SIGNAL+DRAHT-Kongress, Fulda

08.11.– 10.11.23
STUVA, München

SEPTEMBER 2023

OKTOBER 2023

NOVEMBER 2023

Heft Nr. 9/23

17.09. – 19.09.23
48. Internationale Schienenfahrzeugtagung, Graz

19.09. – 22.09.23
15. Trako, Gdansk

21.09. – 22.09.23
VDEI Oberbauschweißtechnik, Fulda

Heft Nr. 11/23

14.11.–15.11.23
4. Bahnbau-Kongress des VDEI, Darmstadt

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

Änderungen vorbehalten.

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für TU Berlin, A+S Consult GmbH, DB Systel GmbH, Brandenburgische TU Cottbus-Senftenberg, TU Chemnitz / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

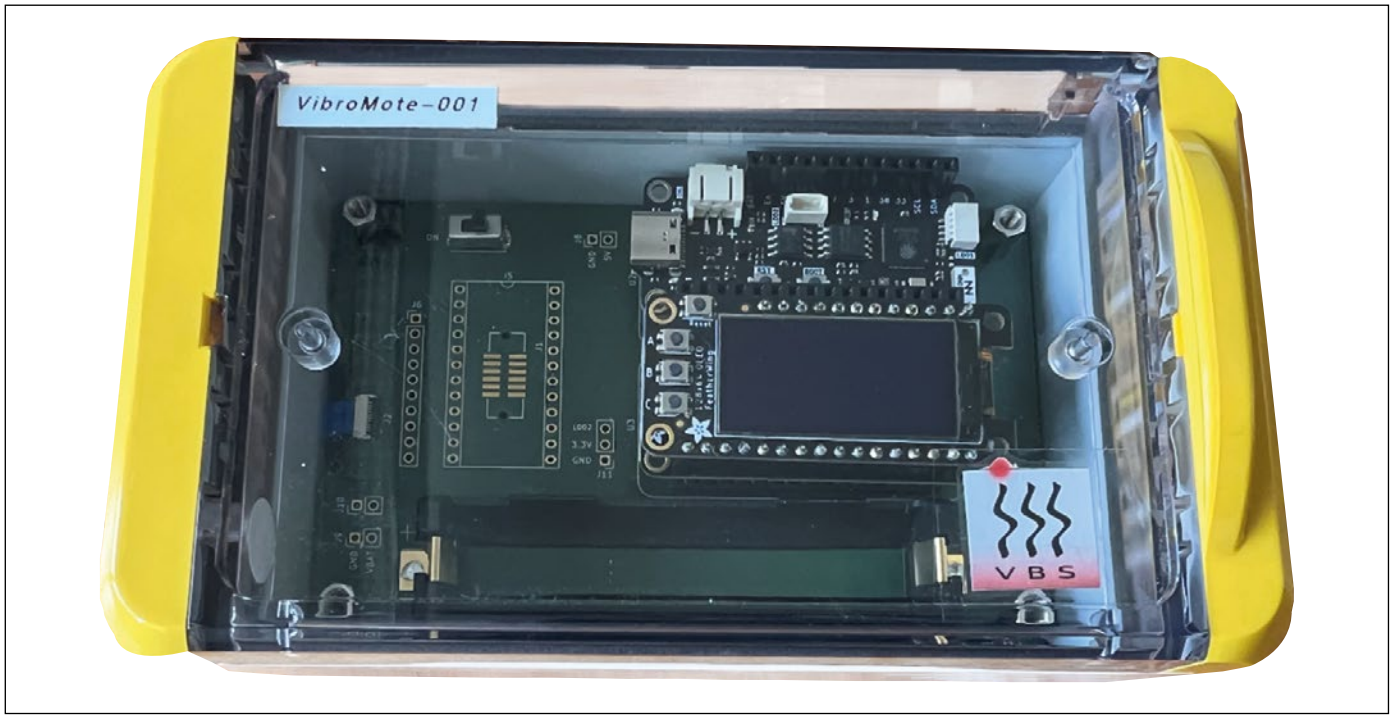

Abb. 2: Prototyp eines Sensorknotens zur Messung von Vibrationen / Schwingungen an Bahnbrücken im Wetterschutzgehäuse

Alle Projektziele eint, dass mit den gefundenen Systemen und Prozessen die schienengebundene Erschließung von heute noch dünn besiedelten Gebieten, wie z. B. der Lausitz, unterstützt werden kann. Daher gibt es das übergreifende Arbeitspaket, welches analysiert, wie schienengebundener öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV) bei der Erschließung von Siedlungsgebieten mitgedacht werden kann und dafür verstärkt auf existierende Strecken setzt. Das Projekt wird diesen Ansatz analysieren und Beispiele in der Region erarbeiten.

Nachhaltige Streckenerschließung

In der Vergangenheit wurden Siedlungsgebiete häufig ausgeschrieben, mit der Bebauung wurde begonnen und dann der ÖPNV erst dazu gedacht. Dies ist möglich, wenn straßengebundene Fahrzeuge genutzt werden. Aus Klimagründen ist jedoch eine Schienenanbindung in vielen Fällen erstrebenswert. Die langen Planungsvorläufe führen dazu, dass in der Realität ein signifikanter zeitlicher Versatz zwischen Ansiedlung und Bereitstellung von schienengebundenem Verkehr erfolgt. In einem Versuch, dieses Zeitfenster zu verkürzen, schlagen wir einen Paradigmenwechsel vor. Mehr als früher sollte bei der Ausweisung von Siedlungsgebieten darauf geachtet werden, dass schienengebundener ÖPNV einfach und zeitnah bereitgestellt werden kann. Dies erscheint möglich, wenn – wie auch unter Nachhaltigkeitsaspekten sinnvoll – vorhandene Bahninfrastruktur wieder in Betrieb genommen und entsprechend ertüchtigt wird.

Als erster Schritt im Projekt wurde eine Bestandsaufnahme der vorhandenen Schieneninfrastruktur vorgenommen. Unter besonderer Berücksichtigung der Ansiedlungsgebiete für Industrie wurden drei Strecken mit hohem Potenzial für die Verknüpfung von Wohn- und Arbeitsgebieten identifiziert, für die nun eine detaillierte Analyse erfolgen wird. Es wird aufgezeigt, wie durch eine Reaktivierung der Strecken Potenziale in der Region erschlossen werden. Das Projekt stellt mit dem Fokus auf Nachhaltigkeit eine Ergänzung zu den bereits an anderen Stellen durchgeführten Arbeiten zum Thema Streckenreaktivierungen dar und berücksichtigt im Besonderen die geänderten Rahmenbedingungen seit Beginn des Ukrainekrieges 2022.

Aufbau eines Digitalen Zwillings

Die Planung von Bahninfrastruktur war bisher weitgehend analog und iterativ. Auch heute gibt es kaum durchgängige Prozessketten, die eine vollständige digitale Planung von Bahnprojekten ermöglichen. Damit gehen mögliche Synergien verloren. Das Projekt wird am konkreten Beispiel der Lausitz aufzeigen, wie durch den Aufbau eines Digitalen Zwillings die Planung flexibler werden kann. Es wird gezeigt, dass das so entstandene Modell frühzeitig im Planungsprozess genutzt werden kann, um unterschiedliche Varianten vergleichend zu entwickeln. Über den Digitalen Zwilling erfolgt die Ableitung der jeweils notwendigen Mengen- und Kostenansätze für eine vergleichende, objektive Betrachtung.

Das Datenmodell von Gleisnetzen wurde für konventionelle Planausgaben entwickelt. Anforderungen von Building Information Modeling (BIM) wie Fachobjektbildung, einheitliche Georeferenzierung, Verknüpfung zur Topologie sowie räumliche Repräsentationen können nur heuristisch mit manuellen Modellierungsaufwänden nachgebildet werden. Es fehlt ein entsprechendes BIM-fähiges Zielformat, um diese Modellierungsaufwände perspektivisch abzulösen. Anderseits stehen auch kaum Unterlagen in digitaler Form zur Verfügung. Oft kann nur auf Streckendarstellungen, als im weitesten Sinn einfache Bilder, aufgesetzt werden. Im Rahmen des Projektes werden automatisierte Verfahren zur Überführung dieser Daten in das konventionelle Datenmodell der DB Netz AG (DB Netz) sowie darauf aufbauend in BIM-fähige Datenmodelle und -formate untersucht. Es soll ein detailliertes, verifiziertes und harmonisiertes BIM-konformes Datenmodell des Bestands- und Gleisnetzes der Region entwickelt werden. In einem ersten Schritt wurde aus den öffentlichen Geobasisdaten von Sachsen und Brandenburg ein Bestandsmodell erstellt. Dieses integriert unter anderem das Geländemodell, Stadtmodell, Liegenschaftskataster und das Landschaftsmodell über das gesamte Projektgebiet und stellt es somit in einer einheitlichen Umgebung dar. Anschließend wird die vorhandene Bahninfrastruktur als Fachmodell in das Gesamtmodell integriert. Die Geoinformationsdaten der LEAG wurden mit den Gleisnetzdaten der DB Netz abgeglichen und ebenfalls in das Modell integriert.

Darauf aufbauend haben bereits erste Arbeiten zur Verknüpfung des Digitalen Zwillings mit der LST-Planung stattgefunden. So können frühzeitig erste Aussagen z. B. zu Fahrmöglichkeiten und der zugehörigen, notwendigen Sicherungstechnik getroffen werden. Weiterhin hat das Arbeitspaket eine hohe Relevanz als Unterstützung für die Betrachtung der Siedlungsstruktur, da hier an einem beispielhaften Workflow gezeigt werden kann, wie vorhandene, ggf. ungenutzte Infrastruktur in das Modell integriert werden kann und so als Visualisierung mit ersten Projektinformationen nicht nur Planern hilfreiches Feedback

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für TU Berlin, A+S Consult GmbH, DB Systel GmbH, Brandenburgische TU Cottbus-Senftenberg, TU Chemnitz / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

gibt, sondern auch z. B. bei der Information der Öffentlichkeit eine große Rolle spielen kann.

Sensornetzwerke

Der Untergrund in der Lausitz ist durch den Bergbau geprägt. Es ist sicherzustellen, dass alle Bahninfrastrukturobjekte sicher und zuverlässig genutzt werden können. Sensornetze können dabei einen wichtigen Beitrag leisten. Sie sind immer anwendungsspezifisch, jedoch bringen die dargestellten Umweltbedingungen, z. B. die dünne Besiedlung, außergewöhnliche Herausforderungen mit sich. So sind hier spezialisierte Sensortypen zu verwenden, deren Verteilung anhand der geologischen Bedingungen und Bauten (z. B. Brücken) angepasst wird. Protokolle zur Berücksichtigung von Sensordaten aus infrastrukturbehafteten und infrastrukturlosen Gebieten müssen entworfen werden. Der Einsatz des Sensornetzwerkes im Bahnbetrieb bedarf der Einhaltung meta-funktionaler Aspekte wie beispielsweise Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit. Diese müssen sowohl im Protokollentwurf nachgewiesen als auch im laufenden Betrieb überwacht werden. Hierfür werden Simulation und formale Methoden eingesetzt.

Teilaspekte der vorgenannten Problematiken wurden im Bereich der Grundlagenforschung zwar untersucht, aber nicht auf derartig komplexe Problemstellungen angewandt. Die Ergebnisse aus der Grundlagenforschung müssen daher geeignet auf die Realität eines Bahnbetriebes in infrastrukturschwachen Arealen, die zudem diversen Gefahrensituationen ausgesetzt sind, übertragen, angepasst und weiterentwickelt werden.

In einem ersten Schritt wurde zusammen mit den Projektpartnern entschieden, als prototypische Anwendung auf die präventive Überwachung von Bauwerken entlang des Gleises zu fokussieren. Als geeignete Objekte wurden Bahnbrücken ausgewählt. Es werden Vibrationen und Schwingungen der Brücke in verschiedenen Situationen erfasst. Diese lassen sich durch die Ermittlung der Beschleunigung an verteilten Messpunkten entlang der Brückenstruktur feststellen. Aufgrund des kompletten Verzichts auf Kabel benötigen die Sensorknoten eine eigene Stromversorgung. Abb. 2 zeigt einen von den im Rahmen dieses Projekts entwickelten Sensorknoten. Unter Verwendung mehrerer solcher Sensorknoten wurde ein Sensornetz konzipiert, welches für die Aufnahme und Weiterleitung der Daten eingesetzt wird.

Es wurde die Eigenschaft der Robustheit als ein Kernproblem der Anwendung von drahtlosen Sensornetzen im Feld identifiziert. Abstrakt bedeutet dies, dass ein konkretes Sensornetz als System mit seinen funktionalen und meta-funktionalen Anforderungen als eine Instanz der Klasse solcher Sensornetze aufgefasst werden kann. Durch die Definition einer Architektur wird beschrieben, welche Parameterkombinationen bzw. -bereiche Systeminstanzen mit den gewünschten Eigenschaften erzeugen. Eine Formalisierung dieses Frameworks erlaubt nun entsprechende Nachweise der Systemeigenschaften.

Migrationsfähige Digitale LST

Um einen sicheren Bahnbetrieb zu ermöglichen, muss LST vorgesehen werden. Die Schwierigkeit besteht dabei darin, dass die Anforderungen sich wahlweise an dem Ist-Zustand oder einem Ausbauzustand orientieren. Eine Migration ohne signifikante Veränderungen der zulassungsrelevanten, sicherheitstechnischen Infrastruktur ist schwierig bis unmöglich. Die Idee des Projekts ist die Konzeption eines Sicherungssystems (und Betriebsverfahrens), welches skalierbar ist und sich im Umfang an den Bedürfnissen orientiert. Dies bedeutet, dass ein initiales System aufgesetzt wird, welches die notwendigen betrieblichen Regeln für einen sicheren Bahnbetrieb beinhaltet und die Ansteuerung von Infrastrukturelementen ermöglicht. Initial sind nur wenige Elemente zu steuern. Durch den Verzicht auf an der Strecke vorhandene, zentrale Sicherungstechnik kann einfach eine spätere Erweiterung vorgenommen werden. Dies ist durch die Nutzung von Cloud-Technologie in Kombination mit der bewährten Zugleittechnik möglich. Das entwickelte System kann nicht nur im Bereich von Werkbahnen Anwendung finden, sondern stellt auch für z. B. ehemalige Militärbahnen oder in den letzten Jahren aus Wirtschaftlichkeitsgründen stillgelegte Strecken eine attraktive Lösung dar.

In den ersten Schritten wurden die Anforderungen an die Sicherungstechnik erfasst und systematisch zusammengestellt. Auf dieser Basis wurde eine Systemarchitektur erstellt und funktional geprüft. Die neue LST wird auf den signalisierten Zugleitbetrieb aufsetzen, da hier hohe Sicherheit durch Prozesse und geringe Hardwareanforderungen das Potenzial für wirtschaftlichen Betrieb haben. Grundlegende technische Lösungen wurden miteinander verglichen und gegeneinander abgewogen, so z. B. die Nutzung von intelligenten Kilometersteinen versus Balisen, die Übertragungsmedien und die Möglichkeiten von unterbrechungsfreien Netzwerkarchitekturen und Netzwerkprotokollen. Durch den Einsatz von Simulation kann das Systemverhalten bereits im frühen Status der Entwicklung überprüft werden. In Kombination mit sog. Hardware-in-the-Loop-Tests kann vor einer Erprobung an der Strecke auch das gewünschte Verhalten der Komponenten verifiziert werden. Hierfür wurde das IoT-Labor des HPI ertüchtigt. Weiterhin fließen in der IT-Branche etablierte Praktiken für Entwicklung und Betrieb von verlässlichen verteilten Systemen in das Projekt mit ein und werden weiterentwickelt.

Ausblick

In der zweiten Projekthälfte steht vor allem für die technischen Arbeitsstränge die Umsetzung der bisherigen Arbeiten im Mittelpunkt. Dies kumuliert in der Vorbereitung und Durchführung der Feldtests. Die gesellschaftliche Komponente der Arbeiten, die sich vor allem in der Betrachtung der Strecken und dem vorgeschlagenen Paradigmenwechsel bei der Berücksichtigung des ÖPNV in der Siedlungsplanung zeigen, erfordern weitere Gespräche, um möglichst alle Stakeholder zu berücksichtigen. ■

Prof. Dr.-Ing. Birgit Milius
Professorin und Leiterin d. Fachgebiets Bahnbetrieb und Infrastruktur
TU Berlin, Berlin
birgit.milius@tu-berlin.de

Jens Bartnitzek, Dipl.-Math.
Fachbereichsleiter Forschung
A+S Consult GmbH, Dresden
jens.bartnitzek@apluss.de

Dirk Friedenberger, Dipl.-Inform.
Softwareentwickler
DB Systel GmbH, Berlin
dirk.friedenberger@deutschebahn.com

Dr.-Ing. Reinhard Karnapke
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
FG Verteilte Systeme/Betriebssysteme
Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Cottbus
karnapke@b-tu.de

Gwyneth Mettendorf
Projektleiterin und Beraterin Forschungs- und Fördermittelmanagement, Gesamtprojektleitung Forschungsprojekt FlexiDug
DB Systel GmbH, Berlin
gwyneth.mettendorf@deutschebahn.com

Billy Naumann, M.Sc.
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Professur Betriebssysteme
Fakultät für Informatik
Technische Universität Chemnitz, Chemnitz
billy.naumann@informatik.tu-chemnitz.de

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für TU Berlin, A+S Consult GmbH, DB Systel GmbH, Brandenburgische TU Cottbus-Senftenberg, TU Chemnitz / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH