

Vom Sensor bis zur Entscheidung: Effizienz in der gesamten Verarbeitungskette

Katrin Lüddecke / Thomas Böhm

Zum Erfassen des Infrastrukturzustands werden immer häufiger und immer mehr Sensoren eingesetzt. Das ist für eine zustandsorientierte Instandhaltung notwendig und bringt neue Herausforderungen mit sich. Statt Doppelausrüstungen und Informationsredundanzen sollten Sensoren effizient eingesetzt werden, gemessene Daten vernetzt verfügbar sein und informationenübergreifend für Entscheidungen genutzt werden. Dieser Beitrag beschreibt die Herausforderungen sowie einen Ansatz und Beispiele für eine effiziente Verarbeitungskette, die vom Sensor bis zur Entscheidung reicht.

1 Einleitung und Motivation

Für Eisenbahnen in ganz Europa wächst die Konkurrenz durch andere Verkehrsträger. Der Luftverkehr wird günstiger und umweltfreundlicher, während der motorisierte Individualverkehr durch neue Assistenzsysteme bequemer und sicherer wird, beispielsweise durch Autos, die selbstständig freie Parkplätze lokalisieren und aufsuchen [1]. Daher muss der Schienenverkehr seine Wettbewerbsfähigkeit erhöhen, indem er pünktlicher, leistungsfähiger und kostengünstiger wird. Das ist leichter gesagt als getan, handelt es sich doch um einen klassischen Zielkonflikt [2]. Je mehr Verkehr stattfindet und je dichter dieser ist, desto höher ist der Verschleiß, desto mehr Aufwand entsteht in der Instandhaltung bzw. desto größer ist die Verspätungswirkung von Störungen. Hinzu kommt, dass im Zuge des demografischen Wandels zunehmend Fachkräfte fehlen, gerade in der Instandhaltung. Eine Lösung des Zielkonfliktes bietet die zustandsorientierte Instandhaltung. Wird die kontinuierliche Anlagenüberwachung technisch unterstützt, stellt sie auch einen Ausweg aus dem Fachkräftedilemma dar, weil sie Routineaufgaben übernimmt und dem Instandhalter Raum für die wichtigen Arbeiten lässt. In

den letzten Jahren wurden deshalb verstärkt Technologien zur Zustandserfassung bzw. -beurteilung entwickelt, erprobt und eingeführt. Dabei ist naturgemäß eine heterogene „Insellandschaft“ entstanden, da die Lösungen aus Einzelproblemen wie Gleislagefehler, Schienenfehler, Weichenantriebsstörungen etc. erwachsen sind. Das bedeutet aber auch, dass Technik mehrfach vorhanden ist und Informationen redundant erfasst werden. Diese Informationen aus unterschiedlichen Quellen sind größtenteils weder vernetzt noch integriert. Dabei ergibt sich genau daraus ein hohes Potenzial für Effizienzsteigerungen und Kostensenkungen. Erstens, Investitionen können eingespart werden, wenn für jede benötigte Informationsart maximal ein Sensortyp angeschafft wird. Zweitens, wenn es weniger Sensoren gibt, verringert sich auch der Aufwand für deren Wartung und es gibt weniger Fehlerquellen. Drittens, die Vernetzung von Überwachungsdaten erlaubt es, unbekannte Zusammenhänge aufzudecken und dieses neue Wissen für Instandhaltungsentscheidungen zu nutzen. Im Folgenden wird beschrieben, wie das Institut für Verkehrssystemtechnik des DLR diesen ganzheitlichen Ansatz bei seiner Forschung für die zustandsorientierte Instandhaltung anwendet.

2 Sensorgestützte Entscheidungen in der Instandhaltung

2.1 Generische Verarbeitungskette

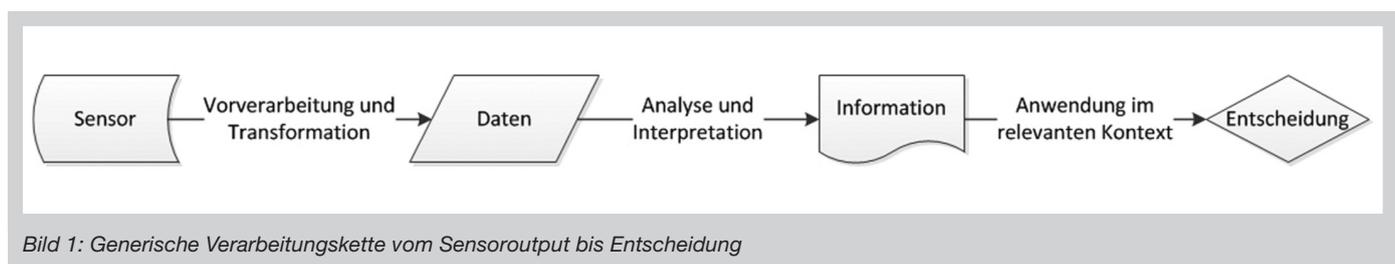
Viele Entscheidungen im Eisenbahnbetrieb und in der Instandhaltung basieren auf sensorgestützten Eingangsgrößen. Im Folgenden wird die grundsätzliche Prozesskette von einem Sensor über die Extraktion nutzbarer Daten und die Ableitung von relevanten Informationen bis zur darauf basierenden Entscheidung dargestellt (Bild 1).

Sensoren detektieren ausgewählte Eigenschaften ihrer Umgebung, indem sie physikalische oder chemische Effekte ausnutzen, welche ein elektrisches Signal erzeugen. Dieses messbare Signal ist die Grundlage für die weiteren Verarbeitungsschritte.

Im Vorverarbeitungsschritt werden aus den Signalen durch Anwendung von Filtern, z. B. zur Eliminierung von Rauschteilen und zur Extraktion der relevanten Messbereiche, und durch Transformation, z. B. in andere Koordinatensysteme, nutzbare Daten erzeugt.

Durch die Analyse, Interpretation und Bewertung der Daten eines Sensors oder durch die Kombination mit zusätzlichen Daten anderer Sensoren oder externer Quellen werden nutzbare Informationen abgeleitet.

Entscheidungen für spezifische Anwendungen können anschließend durch Einordnung der Informationen in den relevanten Kontext getroffen werden.



2.2 Derzeitige Herausforderungen

In den verschiedenen Schritten des skizzierten Prozesses zur sensorgestützten Entscheidungsfindung ergeben sich gegenwärtig vielfältige Herausforderungen. Diesen gilt es sich erfolgreich zu stellen, um sowohl eine effiziente Nutzung vorhandener Technologien als auch eine Erweiterung des Anwendungsportfolios zu ermöglichen.

2.2.1 Sensoren

Bezüglich der Sensoren muss es Ziel sein, solche zu identifizieren und einzusetzen, die kostengünstig, energieeffizient, wartungsarm, im anwendungsbezogenen Maße zuverlässig und präzise sowie geeignet für die oft rauen Einsatzbedingungen im Eisenbahnumfeld sind. Zudem sollten die Sensoren über standardisierte Schnittstellen verfügen. Einige dieser Anforderungen können sich gegenseitig bedingen, wohingegen andere einen eher konträren Charakter aufweisen. Deshalb ist die Auswahl der zu verwendenden Sensorik in den meisten Fällen ein Kompromiss bzgl. der Erfüllung der verschiedenen Anforderungen.

2.2.2 Daten

Im Zuge der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Informationstechnologie ist eine permanente Zunahme der Anzahl der im Einsatz befindlichen Sensoren zu beobachten, was mit einer extrem wachsenden Menge an erzeugten Daten einhergeht. Die enorme Datenflut stellt eine große Herausforderung bezüglich des Datenmanagements (inkl. der Datenspeicherung und -kommunikation) dar. Insbesondere für den Fall, dass unterschiedliche Anwendungen auf Daten mit gleichem Inhalt basieren, sollte deshalb zur Reduzierung des entstehenden Datenvolumens die Anzahl der Datenquellen, also Sensoren, minimiert werden. Auch die Wahl einer möglichst geringen, aber weiterhin ausreichend hohen Abstrakte kann zu einer Reduktion des Gesamtdatenvolumens beitragen.

Mit den zunehmenden Datenmengen kann bei der Datenübertragung die Latenz des Kommunikationskanals kritisch groß werden, was insbesondere bei sicherheitsrelevanten Anwendungen prekär ist. Wenn Daten von mehreren Prozessen gemeinsam genutzt werden, wird die Nebenläufigkeitskontrolle zur Gewährleistung der Datenintegrität wichtig. Wenn Daten für die Gewinnung unterschiedlicher Informationen wiederholt durch verschiedene Module abgefragt werden, ist die Effizienz der Datenab-

frage von hoher Bedeutung. Vielen Unternehmen und Einrichtungen mangelt es an einem systematischen Umgang mit den immer größer werdenden Datenmengen. Das hat zur Folge, dass ein Großteil der verfügbaren Daten gar nicht weiterverarbeitet und damit das Potenzial zur Verwertung für neue oder andere Anwendungen nicht erschlossen wird. Dabei sind seit einiger Zeit neue Konzepte für das Datenmanagement in der Entwicklung. Deren Implementierung und Einführung in die Praxis werden jedoch häufig auf einen undefinierten Zeitpunkt in der Zukunft verschoben.

2.2.3 Informationen und Entscheidungen

Bislang werden die aus der Analyse von Daten eines Sensors gewonnenen Informationen oft nur für einen Zweck bzw. Entscheidung verwendet. Für andere Entscheidungen, die die gleiche Information als Input benötigen, werden separate Algorithmen angewendet, um die relevante Information aus den verfügbaren Daten zu extrahieren. Nicht selten werden sogar extra Sensoren der gleichen Art verbaut, um die gleiche Information für eine zusätzliche Entscheidung zu erhalten. Gründe dafür sind, dass entweder die Existenz oder die Schnittstellen des schon vorhandenen Sensors nicht bekannt sind oder aber dass nicht bewiesen ist, dass die zweite Anwendung rückwirkungsfrei auf andere (Sensor-) Daten, Algorithmen und Anwendungen funktioniert. Dieser bisher verbreitete Ansatz der für jede Entscheidung separat umgesetzten Verarbeitungsketten ist in Bild 2 veranschaulicht (Gleiche Farben signalisieren Sensoren, Daten bzw. Informationen des gleichen Typs).

Das Potenzial einer systematischen und automatisierten Datenverarbeitung zur Ableitung von Informationen und zur Unterstützung von Entscheidungsfindungen wird im Eisenbahnsektor kaum genutzt. Obwohl die Menge und Genauigkeit der von Sensoren gelieferten Daten schon seit Langem die Grenze überschritten hat, bis zu der diese Daten allein vom Menschen analysiert und interpretiert werden können, versuchen viele daran festzuhalten. So sind aus der Eisenbahnpraxis Fälle bekannt, in denen automatisch aufgezeichnete Daten ausgedruckt und sodann von Menschen mit Bleistift und Lineal analysiert werden. Das ist zum einen sehr ineffizient und zum anderen keine stringente Anwendung von definierten Analyseregeln, was letztlich auch zu nicht reproduzierbaren Ergebnissen führt. Daher muss der Trend weiterverfolgt werden, Data-Mining-Methoden zu entwickeln und anzuwenden, um nicht nur die Erfassung, sondern auch die Informationsextraktion zu automatisieren.

3 Ganzheitlicher Ansatz für sensorgestützte Entscheidungen

Zur Steigerung der Effizienz auf allen Ebenen der dargestellten Kette vom Sensor bis zur Entscheidung schlagen wir einen ganzheitlichen Ansatz gemäß Bild 3 vor. Grundidee ist, so viele Redundanzen wie möglich zu vermeiden und möglichst viele Datenverarbeitungsprozesse zu automatisieren. Dabei muss sichergestellt sein, dass die einzelnen Prozesse rückwirkungsfrei auf andere Entscheidungsstränge ablaufen. Mit diesem Ansatz können viele der zuvor dargestellten aktuellen Herausforderungen besser gelöst

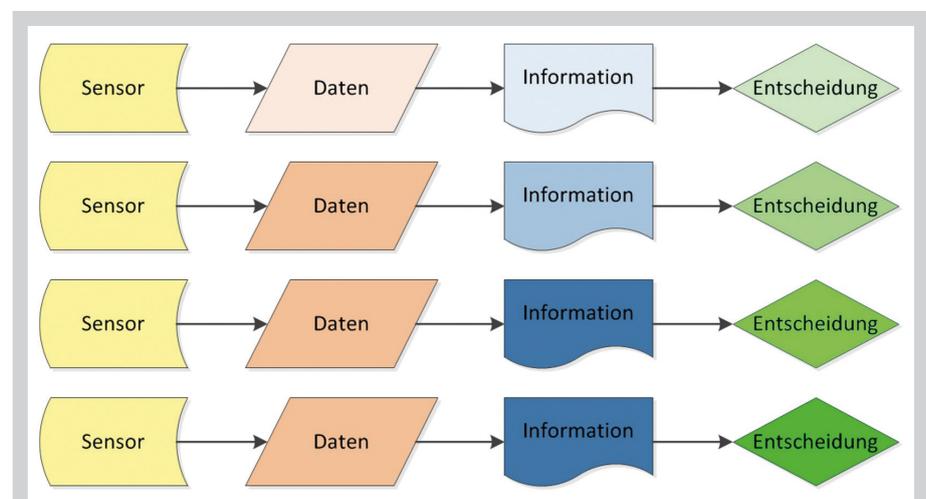


Bild 2: Separate Verarbeitungsketten von Sensoren gleichen Typs für verschiedene Entscheidungen

■ Effiziente Instandhaltung

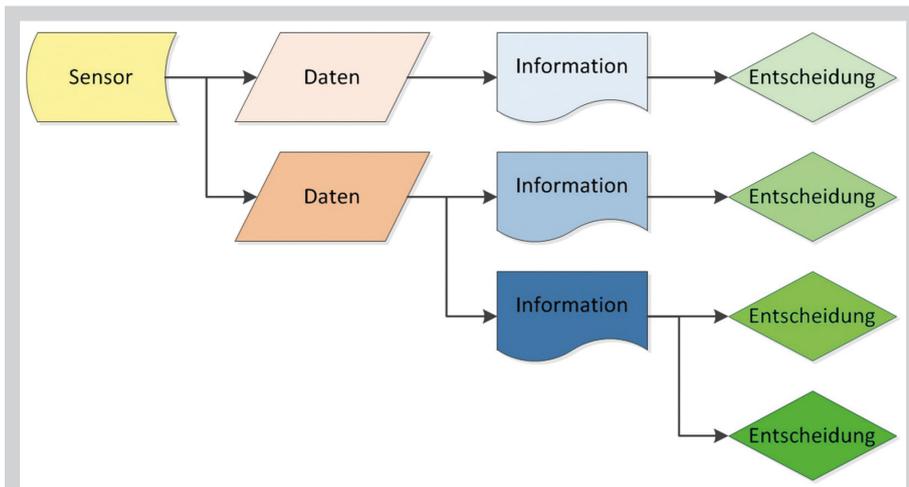


Bild 3: Effiziente Nutzung eines Sensors für verschiedene Entscheidungen

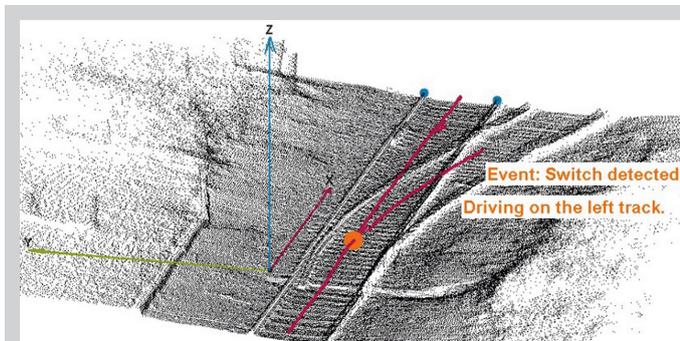


Bild 4: Punktwolke einer Lasermessung, verwendet zur Detektion der Weichenüberfahrtrichtung



Bild 5: Beispiel für vertikale Gleislagefehler

ten genutzt, um Kenntnis über den Bewegungszustand des Fahrzeugs zu erhalten. Darüber hinaus ergibt sich durch Division der Drehrate um die senkrechte Achse durch die gefahrene Geschwindigkeit die geschwindigkeitsunabhängige Krümmung. Diese kann mit der aus digitalem Kartenmaterial bekannten Sollkrümmung des befahrenen Gleises verglichen und so beispielsweise eine Aussage über das passierte Gleis an spitz befahrenen Weichen getroffen werden [3].

Es böte sich an, die von IMUs gelieferten Daten auch zur Identifikation von vertikalen Gleislagefehlern (Bild 5) zu nutzen. Die Gleislagefehler im Bild werden mittels eines Beschleunigungssensors des RailDrIVE erfasst. Das RailDrIVE ist ein vom DLR zur Erprobung verschiedener Sensoren und deren Daten nutzenden Algorithmen ausgebautes mobiles Labor (nähere Informationen in [4]). In diesem Fall sind insbesondere die vertikalen Beschleunigungen von Interesse, auf deren Basis vertikale Verschiebungen (meist als vertikale Wellen erkennbar) detektiert werden. Wenn in geringen zeitlichen Abständen auf einer Strecke verkehrende Fahrzeuge aufgrund ihrer IMU Aussagen über den Gleisgeometriezustand erlauben, liefert das wertvolle Informationen in Ergänzung zu entsprechenden Messzugergebnissen. Es ist davon auszugehen, dass auf diese Weise eine bessere Prognose der Zustandsentwicklung und damit eine bessere Planbarkeit zustandsabhängiger Instandsetzungsmaßnahmen möglich werden, weil durch Regelzugmessungen die Prognoseunsicherheit eingegrenzt wird.

Ein weiteres Beispiel entstammt der Diagnose von Weichenfehlern. Hier wird der Stellstrom mithilfe eines induktiven, rückwirkungsfreien Sensors erfasst. Da der Stellstrom proportional zur benötigten Kraft für das Umstellen der Weiche ist, ist darüber eine Zustandsinterpretation möglich. Die benötigte Stellkraft hängt jedoch auch von der Umgebungstemperatur ab, wie an einem Beispiel mit stark ausgeprägter Korrelation in Bild 7 zu sehen ist. Die Antriebsleistung sinkt nahezu gleichmäßig, wenn die Temperatur steigt. Es ist also notwendig, die Temperatur in die Zustandsinterpretation miteinzubeziehen. Um diese zu erfassen, kann nun ein Netzbetreiber jede Weiche mit einem Temperatursensor ausrüsten, was wegen der hohen Zahl an Weichen schnell zu einem Investment von mehreren hunderttausend Euro führt. Oder der Netzbetreiber nutzt die Temperaturdaten von anderen Quellen, wie etwa der Weichenheizung, dem Stellwerk oder öffentlich zugänglichen Wetterstationen. Letzteres ist eine sehr kostengünstige Vari-

werden als mit dem derzeit verbreiteten Ansatz separater Verarbeitungsstränge.

4 Beispiele

Es sind zahlreiche konkrete Ansatzpunkte der Effizienzsteigerung in der beschriebenen Verarbeitungskette vorstellbar, von denen hier drei exemplarisch vorgestellt werden.

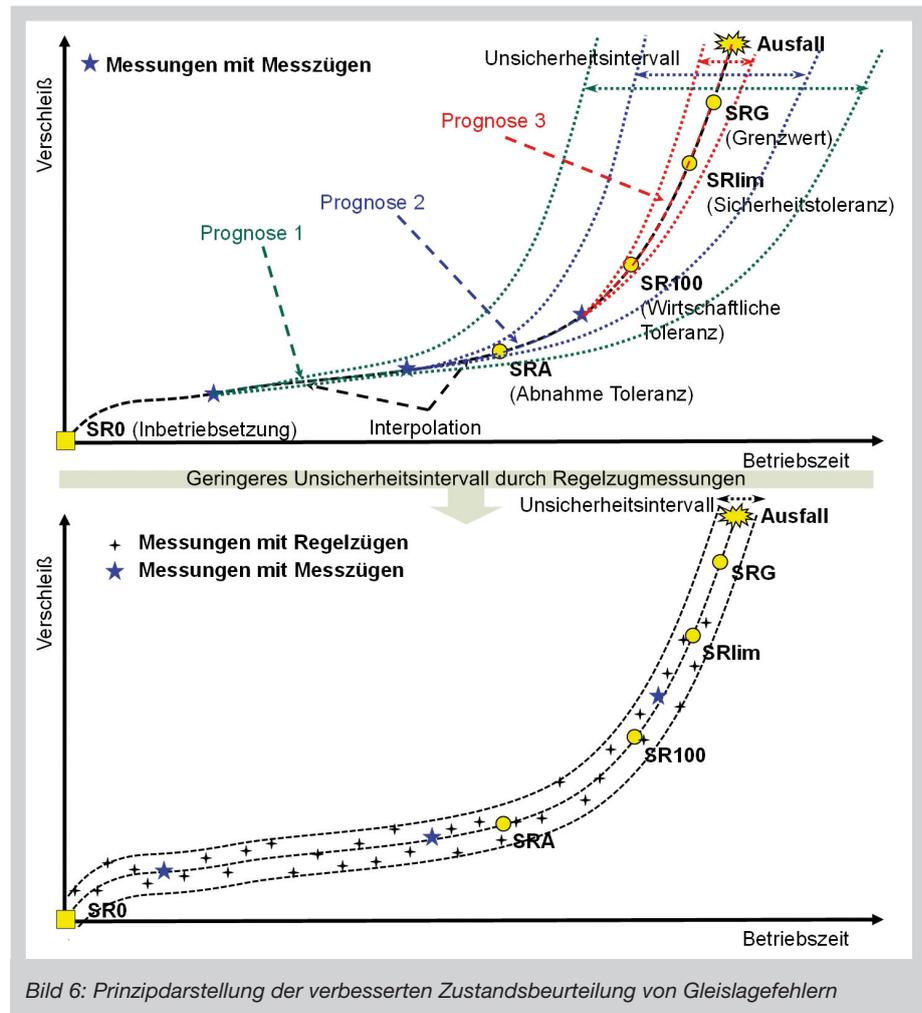
Beispielsweise wären die von einem Laserscanner aufgezeichneten Punktwolken, die die Kontur der Umgebung in der gescannten Richtung abbilden,

für zwei verschiedene Zwecke verwendbar. Sie können sowohl zur Detektion einer Weichenüberfahrt (Bild 4) und damit zur Stützung der Ortung des Schienenfahrzeugs als auch für die Überwachung des Lichtraumprofils des Fahrweges und eventueller Einschnitte z.B. durch Bewuchs oder Geröll genutzt werden.

Ebenfalls zum Zweck der Ortung können mittels Inertialmesseinheiten (engl. Inertial measurement unit, IMU) die Beschleunigungen eines Triebfahrzeugs in drei orthogonale Richtungen und die Drehraten um die entsprechenden drei Raumachsen erfasst werden. Häufig werden die IMU-Da-

ante und kann die Fehlerdetektion schon erheblich verbessern [5].

Die zuvor genannten Anwendungsfälle sind nur einige Beispiele dafür, wie das DLR Institut für Verkehrssystemtechnik den ganzheitlichen Ansatz in der Praxis nutzt. Dies ist nicht zuletzt dadurch motiviert, dass auch für die Forschung immer nur begrenzte Finanzmittel verfügbar sind und diese somit möglichst effizient einzusetzen sind. Zum Forschungsspektrum gehört zudem, dass verschiedene Sensoren unter anderem auf ihre Genauigkeit, Zuverlässigkeit und ihre Eignung zur Erfassung relevanter Zustandsdaten hin analysiert und getestet werden. Das RailDrIVE® des DLR bietet hierfür die perfekte Plattform als „Zwei-Wege-Labor“. An dieser Stelle kommt gleichermaßen das Know-how über eingebettete Systeme zum Tragen, das bis zur prototypischen Entwicklung kleiner Sensorplattformen reicht. Da die gemessenen Daten vom bewegten Fahrzeug oder von Feld-einheiten für weitere Analysen zugänglich gemacht werden müssen, beschäftigt sich die Forschung auch mit der Kommunikation. Zudem ist die Kommunikation ein wesentlicher Bestandteil bei der fahrzeugautarken Ortung im Schienenverkehr [6]. Egal ob on-board oder off-board, immer ist die Datenvorverarbeitung essenziell, bevor aus Daten Informationen werden. Das Institut nutzt verschiedene Transformationsverfahren, von der einfachen Filterung bis hin zur Wavelet-Transformation, um wichtige Merkmale aus der Datenflut zu bilden. Doch erst durch Signalanalyse und Data Mining wird aus Millionen Datensätzen handlungsrelevantes Wissen extrahiert – ein Prozess, der neuerdings häufig mit dem Schlagwort Big Data belegt wird. In den automatischen Analysen werden auch Zusammenhänge aufgedeckt, die bisher in den Daten „versteckt“ waren, gerade wenn mehrere Quellen integriert werden. Aus den Mustern leitet das DLR auf algorithmischem Wege Diagnosen und Prognosen über den Zustand der Eisenbahninfrastruktur ab. Diese bilden die Basis für Entscheidungen für Instand-

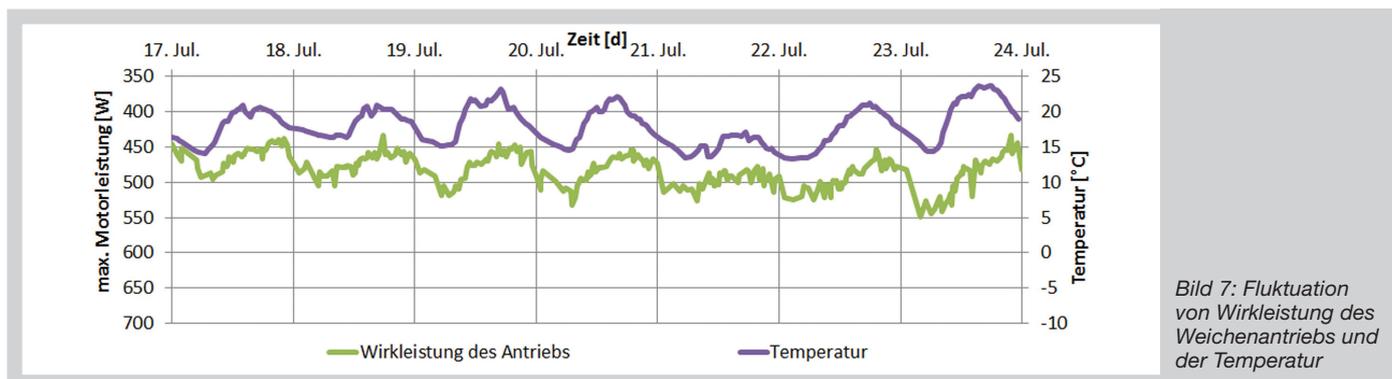


haltungsmaßnahmen und werden letztlich dazu verwendet, die Instandhaltungsstrategie zu optimieren [7]. Als Forschungseinrichtung steht jedoch entlang der gesamten Verarbeitungskette der technische und methodische Fortschritt im Vordergrund und nicht die Produktentwicklung.

5 Fazit

Die mehrfache Nutzung eines Sensors für verschiedene Anwendungen weist im Eisenbahnumfeld ebenso wie in anderen

Domänen ein hohes Potenzial zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit und der Performance des Gesamtsystems auf. Je nach Anwendung bietet es sich dabei an, auf den gleichen Sensoroutput, die gleichen Daten und teilweise sogar auf die gleichen Informationen als Grundlage für die zu treffende Entscheidung zuzugreifen. Voraussetzung dafür ist jedoch die Bereitschaft der verschiedenen Interessenvertreter, wie z.B. Sensorhersteller, Algorithmen- und Softwareentwickler, Anwender und Entscheidungsträger, zu einer verstärkten Zusammenarbeit mit dem Ziel der Gesamt-



■ Effiziente Instandhaltung

systemoptimierung. So kann letztendlich für jeden Beteiligten in unterschiedlicher Form ein Mehrwert entstehen.

LITERATUR

[1] Chmielewski, M.: Neues System soll Parkplatzsuche stressfrei machen; in: Braunschweiger Zeitung, 29.01.2013. Online verfügbar unter http://www.braunschweiger-zeitung.de/wirtschaft/wirtschaft_region/neues-system-soll-parkplatzsuche-stressfrei-machen-id877208.html, zuletzt geprüft am 09.04.2014.
 [2] Gesquière, M.; Gardin, D.: Asset Management Line comparison. UIC Workshop on Asset Management. UIC (Union Internationale des Chemins de Fer). Paris, 27.10.2010. Online verfügbar unter <http://www.uic.org/IMG/pdf/06-line-comparison-dominique-gardingesquiere.pdf>, zuletzt geprüft am 31.01.2013.
 [3] Gerlach, K.; Rahmig, C.: Multi-Hypothesis Based Map-Matching Algorithm for Precise Train Positioning; 12th International Conference on Information Fusion, 6.-9. Juli 2009, Seattle, WA, USA.
 [4] Lüddecke, K.; Kluge, A.: Mobiles Labor Rail-DrIVE - Synchrone Erfassung von Sensordaten; in: EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 1/2014, S. 46–49. DVV Media Group/Eurailpress.
 [5] Böhm, T.: Genauigkeitsverbesserung der Diagnose von Eisenbahnweichen. In: EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 63. (12), S. 56–61. DVV Media Group/ Eurailpress.

[6] Strang, T.; Meyer zu Hörste, M.; Gu, X.: A Railway Collision Avoidance System exploiting Ad-hoc Inter-Vehicle Communications and GALILEO; in: Proceedings. 13th World Congress and Exhibition on Intelligent Transportation Systems and Services (ITS 2006), 08.–12.10.2006, London, UK.

[7] Beck, K.; Jäger, B.; Lemmer, K.: Optimisation of point life cycle costs through load-dependent maintenance; in: M. C. Forde (Hg.): Railway Engineering 2007. Proceedings of the 9th International Conference and Exhibition. Edinburgh, UK: Engineering Technics Press Edinburgh.

Die Autoren

Katrin Lüddecke
 Leiterin der Arbeitsgruppe
 „Sensoren – Daten – Algorithmen“,
 Abteilung Bahnsysteme
 Institut für Verkehrssystemtechnik
 DLR e.V.
 Anschrift: Lilienthalplatz 7,
 D-38108 Braunschweig
 E-Mail: katrin.lueddecke@dlr.de

Thomas Böhm
 Leiter der Arbeitsgruppe
 „Life Cycle Management“,
 Abteilung Bahnsysteme
 Institut für Verkehrssystemtechnik
 DLR e.V.
 Anschrift: Lilienthalplatz 7,
 D-38108 Braunschweig
 E-Mail: thomas.boehm@dlr.de

■ **SUMMARY**

From sensor data retrieval to decision making: efficiency throughout the processing chain

Infrastructure condition monitoring sensors are used more and more frequently. This is a necessary premise for condition-based maintenance but also arises new challenges. Instead of duplicate sensor equipment and information redundancy, sensors should be applied efficiently, measured data should be available in networks, and information should be used comprehensively to make decisions. This article describes the challenges as well as an approach and some examples of efficient information processing chains reaching from the sensor to the decision.

www.eurailpress.de/archiv

Das Portal für die Bahnbranche

Über 210.000 Seiten
 Bahn-Fachwissen!



Recherchieren Sie in allen Ausgaben seit 1906 - exklusiv für Abonnenten.

- Komfortable Volltextsuche
- Beiträge im PDF-Format
- Download direkt auf den PC

