Präzise Vermessung des Fahrweges

Moderne Mess- und Analysetechnologien als Basis für eine wirtschaftliche Instandhaltung

OMAR MOHAMED | DAVID BUCHBAUER

Durch präzise und regelmäßig erfasste Messdaten können Infrastrukturbetreiber ihre Instandhaltungsplanung optimieren. Dies führt zu einer Reduktion von Kosten und negativen Auswirkungen auf den Betriebsablauf. Um das zu erreichen, sollten moderne Mess- und Analysetechnologien eingesetzt werden – idealerweise bei regulärem Betrieb und Nenngeschwindigkeit. So lassen sich potenzielle Probleme frühzeitig erkennen und gezielt vorbeugende Maßnahmen ergreifen. Die konsequente Umsetzung dieser Maßnahmen erhöht die Kapazität, reduziert ungeplante Eingriffe und verbessert die Datenbasis sowie Planbarkeit deutlich.

Einleitung

Aufgrund der immer knapperen zeitlichen und personellen Ressourcen ist es entscheidend, die Gleisinstandhaltung so effizient und wirtschaftlich wie möglich durchzuführen. Um dies zu erreichen, liegt der Fokus zunehmend auf präventiver und vorausschauender Instandhaltung, gestützt auf datenbasierten Verschleißmodellen. Auf diese Weise können traditionelle und intervallbasierte Wartungspläne ergänzt oder sogar komplett ersetzt werden. Die Genauigkeit solcher Modelle hängt von der Präzision und der Qualität der Messdaten ab.

Hintergrund – Notwendigkeit von genauen Messungen

Aktuelle Instandhaltungsstrategien des Eisenbahnfahrwegs erfordern häufig fixe zeitliche Intervalle und/oder sind belastungsabhängig. Pläne für die Inspektion der Infrastruktur orientieren sich an ähnlichen Intervallen. Die Beurteilung des Infrastrukturzustands basiert traditionell hauptsächlich auf Grenzwerten und führt implizit dazu, dass Wartungsaktivitäten reaktiv und auf punktuelle Instandsetzung wie z. B. Einzelfehlerbehebung ausgerichtet sind. Langfristig ist das nicht kosteneffizient und liefert nicht die gleiche Qualität wie die Bündelung von mehreren Abschnitten. Darüber hinaus werden in der Regel Aspekte wie die Verschleißraten oder Kombinationen des Verschleißes unterschiedlicher Komponenten nicht ausreichend berücksichtigt. Das Ergebnis ist ein Inspektions- und Wartungsplan, der optimiert werden kann, um Kosten zu senken und die Verfügbarkeit zu erhöhen.

Durch präzise und regelmäßige Messungen verschiedener Parameter der Infrastruktur lassen sich Methoden der Datenauswertung verbessern und die Gesamtkosten senken – sowohl direkt als auch indirekt durch höhere Verfügbarkeit und Qualität der Infrastruktur für den operativen Betrieb.

Technische Voraussetzungen

Mit modernen Messgeräten lassen sich die meisten Parameter, die heute für die Planung der Gleisinstandhaltung relevant sind, mit hoher Genauigkeit und wiederholbaren Ergebnissen erfassen. Zu diesen Messdaten gehören Parameter für die Zustandsbewertung von Schwellen/Schotter/Unterbau, Gleisgeometrie und Gleisprofil, Weichen [1] (Abb. 1), Fahrleitungsgeometrie und Verschleiß sowie anderer Infrastrukturanlagen. Um die gewünschten Ergebnisse zu erzielen, basieren Messgeräte und Messlösungen je nach Anwendung häufig auf:

- Laser-/LED-/Kamera-Kombinationen
- KI-gestützter Bildanalyse
- Ultraschall- und Wirbelstromtechnologie
- LiDAR-Technologie (Einzelgeräte oder Array)
- Radartechnologie (Einzelgeräte oder Array).

Die eingesetzten Messsysteme und Messlösungen müssen sowohl präzise messen als auch eine zuverlässige und reproduzierbare Datenerfassung unter unterschiedlichen Umgebungs- und Betriebsbedingungen ermöglichen. Idealerweise ist der Einsatz der Messsysteme auf verschiedenen Fahrzeugplattformen wie Lokomotiven, Hochgeschwindigkeits- oder Regional-/Stadtbahnzügen, speziellen Messfahrzeugen oder Zweiwege-Fahrzeugen möglich. Neben der Präzision der Messung selbst ist es auch wichtig, dass die Lokalisierung jedes Datensatzes genau und eindeutig ist und die Überlagerung verschiedener Datenquellen über einen längeren Zeitraum möglich.

Operative Betrachtung

Um eine solide Datengrundlage für effiziente und wirtschaftliche Instandhaltungsplanung zu schaffen, sind die normativen Anforderungen an die Messungen zu berücksichtigen. Einige Parameter müssen unter realen dynamischen Bedingungen gemessen werden, andere sind möglicherweise nicht von diesen Bedingungen abhängig. Unabhängig von diesen Anforderungen gilt allgemein, dass eine Reduzierung der Sperrzeiten unerlässlich ist, um die Kosten und Auswirkungen der Messungen zu reduzieren und die Verfügbarkeit des Fahrwegs zu erhöhen. Dies kann durch eine Kombination der folgenden Maßnahmen effizient erreicht werden:

- Messungen mit der höchstmöglichen Betriebsgeschwindigkeit, die durch die Infrastruktur begrenzt ist
- Durchführung von Messungen im Rahmen des laufenden Betriebs. Die Installation von Messsystemen in Passagierfahrzeugen oder Lokomotiven ermöglicht zudem häufigere Datenerfassung und höhere Auflösung in prädiktiven Degradationsmodellen.

Unabhängig von den Betriebsbedingungen müssen die gemessenen Parameter hochgenau sein, um die Qualität der Datenanalyse und die anschließende Optimierung der Instandhaltungsmaßnahmen sicherzustellen.

Vorteile bei der Instandhaltung

Der Nutzen präziser Messungen der Infrastruktur für eine wirtschaftliche Instandhaltung zeigt sich weltweit in der Arbeit und bei den Entwicklungen verschiedener Infrastrukturbetreiber. Präzisere Messdaten optimieren die zielgerichtete Planung der Instandhaltung sowie den Übergang von teuren und kurzfristig durchgeführten Korrekturen zu langfristig wirtschaftlichen und vorausgeplanten präventiven Maßnahmen. In Australien konnte ein Infrastrukturbetreiber feststellen [2], dass durch die Analyse häufig und präzise gemessener Parameter der Gleis- und Oberleitungsgeometrie, die durch Messsysteme auf einer Lokomotiv-Plattform erfasst wurden, die Anzahl ungeplanter und kurzfristiger Reparaturen sowie die Belegung des Netzes für die Vermessung signifikant reduziert werden konnten. Dadurch wurden Kapazität und Verfügbarkeit des Netzes erhöht und gleichzeitig die Kosten der Inspektionsarbeiten gesenkt. So ging die Anzahl von ungeplanten Wartungsaktivitäten von über 300 pro Jahr auf ca. 150 in den ersten zwei Jahren beim Einsatz der ausgestatteten Lokomotiven zurück. Die Anzahl gemeldeter Überschreitungen der Seitenlage der Oberleitung reduzierte sich durch Nutzung von genauen und häufigen Messdaten sowie eine entsprechend angepasste Wartungskontrolle innerhalb von einem halben Jahr von wöchentlich 100 bis 150 auf weniger als 50. Weitere Vorteile waren unter anderem Verbesserungen bei der Bewertung der Effektivität der Instandhaltung, der Qualität der Anlagedaten und der internen Berichterstattung über Zustands- und Qualitätskennzahlen.

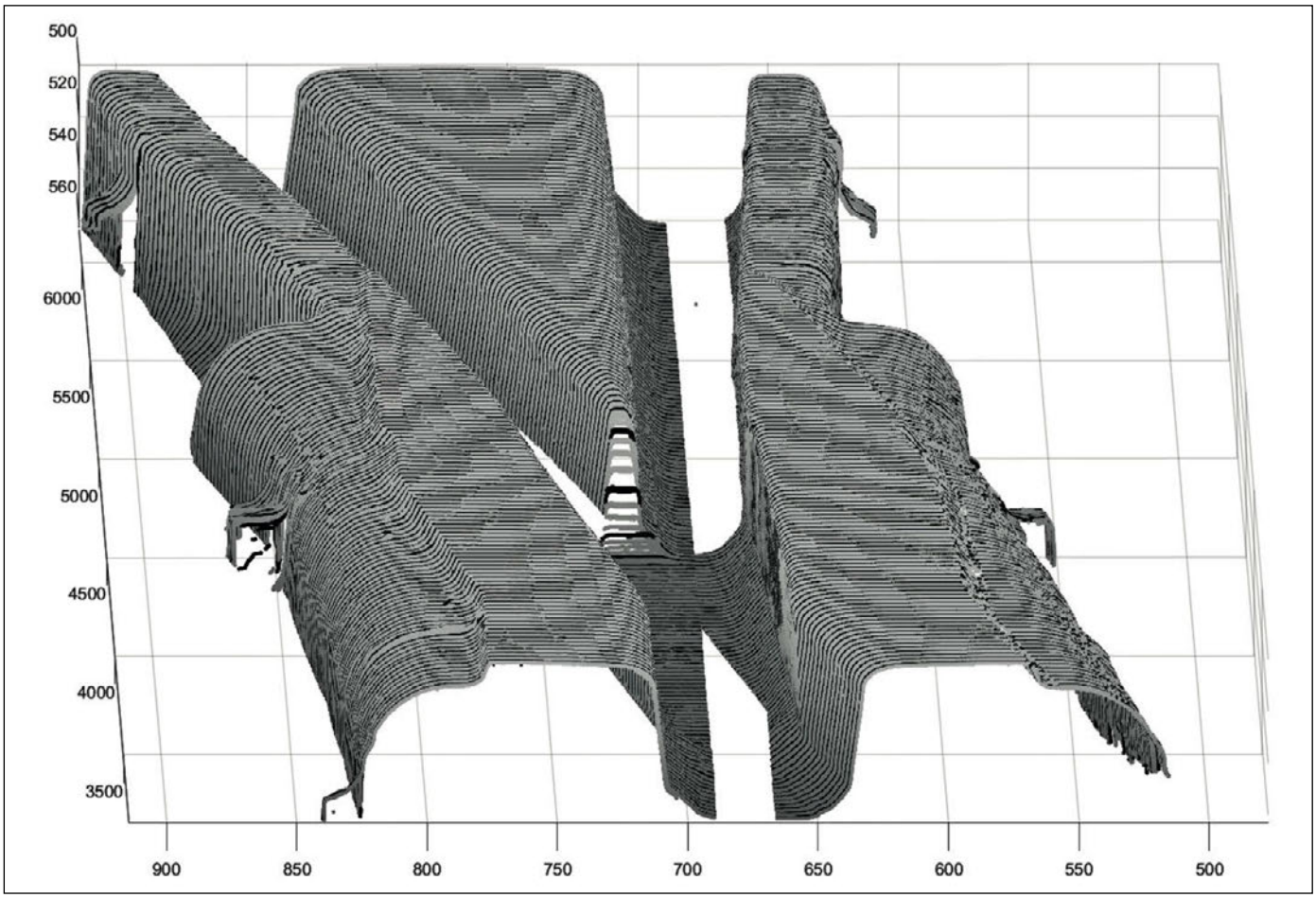

Abb. 1: Beispiel einer hochgenauen 3D-Vermessung eines Weichenherzes

Quelle aller Abb.: DMA

Die Nutzung von häufig erfassten Daten ermöglichte zudem eine regelmäßige Auswertung verschiedener Qualitätsindizes sowie tiefergehende Trendanalysen (Abb. 2), entweder auf Basis der Messparameter selbst oder der abgeleiteten Qualitätsindizes. In diesem Fall stellte der Betreiber fest, dass 87 % der korrekten Meldungen über Fehler in der Gleislage- oder Oberleitungsgeometrie den Verschlechterungsmodellen entsprachen, wobei die festgestellten Abweichungen hauptsächlich auf betriebliche und umwelt-

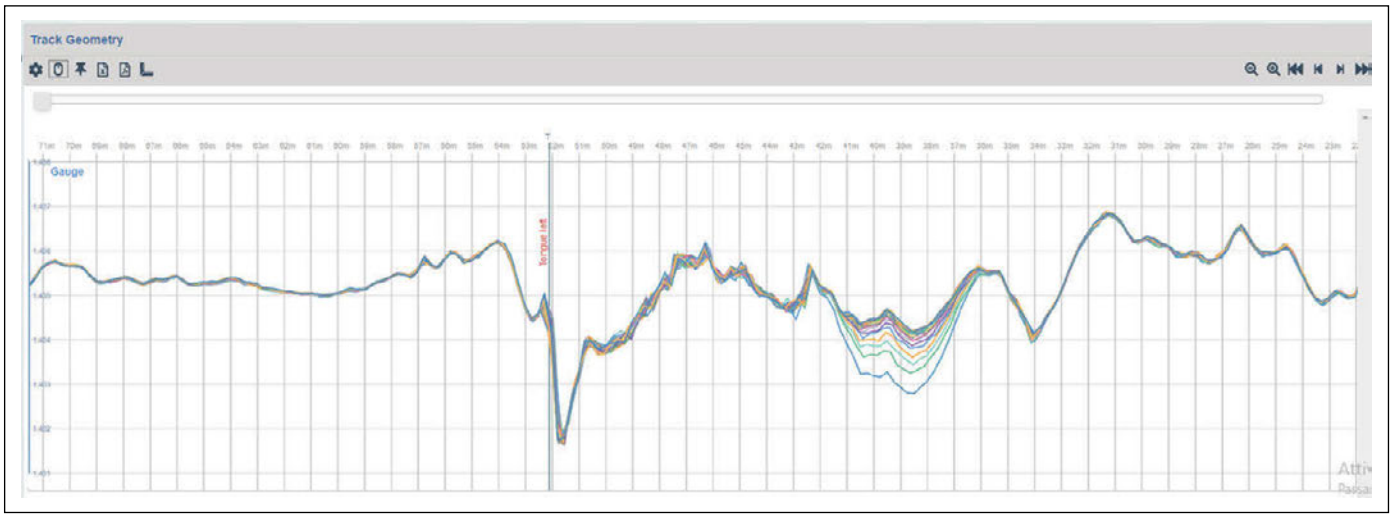

Abb. 2: Trendanalyse anhand regelmäßiger und genauer Messungen

bedingte Faktoren zurückzuführen waren. Trendanalysen ermöglichen es dem Betreiber, Defekte anhand ihrer Wachstumsraten zu differenzieren und zu priorisieren sowie die Kritikalität des Defekts nicht nur anhand einer Momentaufnahme zu bewerten, sondern anhand einer Kombination aus vergangener, gegenwärtiger und zukünftig erwarteter Entwicklung des Defekts.

Auch Messregime, die auf dedizierten Messfahrzeugen basieren, können zu Effizienzsteigerungen führen, wenn die Daten von hoher Qualität sind und entsprechend weiterverarbeitet und analysiert werden. Dies zeigen zahlreiche Beispiele, etwa bei Hochgeschwindigkeitsbahnen in Europa wie RFI, Deutsche Bahn AG und SNCF. Je nach geprüfter Anlagenkategorie werden teils hoch spezialisierte Messfahrzeuge eingesetzt, wie das AWI GAF bei der DB (Weichenvermessung), teils Mehrfunktionsfahrzeuge wie die K12-Fahrzeuge bei RFI (Weichenvermessung, Gleisgeometrie und AI-gestützte Fahrbahninspektion, Abb. 3).

Ziel beider Messkonzepte ist es, die Genauigkeit der Daten sowie die Effizienz bei der Instandhaltung zu erhöhen. Durch genauere Messdaten können genauere Vorhersagen getroffen werden, wann Grenzwerte voraussichtlich überschritten werden. Dadurch können Grenzwerte besser ausgeschöpft werden, ohne ein höheres Risiko für Überschreitungen einzugehen.

Mit hochpräzisen Daten können weitere Verbesserungen im Wartungsprozess erzielt [3] und die Wartungsintervalle verlängert werden, während die Verfügbarkeit der Infrastruktur erhalten oder verbessert wird. Ein größeres Wartungsintervall ermöglicht flexiblere Planung und Bündelung von Aktivitäten in einem Infrastrukturabschnitt. Dadurch wird der Bedarf an Einzeleingriffen minimiert, die teurer sind und die Gesamtverfügbarkeit der Infrastruktur reduzieren. Auswertungs- und Visualisierungs-Tools wie Heatmaps (Abb. 4), Qualitätsindizes und ein Business-Rule-Ansatz für Daten, der verschiedene Datenparameter zu einer regelbasierten Defektdefinition kombiniert, ermöglichen ein präziseres und effektiveres Wartungskonzept. Ein solches kann die Ineffizienz der intervallbasierten Wartung und die Anzahl von reaktiven und kurzfristigen Maßnahmen reduzieren.

Zusammenfassung

Mithilfe präziser und regelmäßig erfasster Messdaten können Infrastrukturbetreiber die Wartung optimieren und somit die Kosten und Auswirkungen ihrer Instandhaltung auf den Betriebsablauf deutlich reduzieren. Dies zeigen eindrucksvoll Beispiele aus Australien und anderen Ländern. Um diese Kostensenkungen durch eine erhöhte Datenbasis für die Instandhaltungsplanung zu ermöglichen, können Infrastrukturbetreiber und Bauunternehmen verschiedene Maßnahmen ergreifen:

- Einsatz von Messlösungen, die genaue und relevante Messdaten / -parameter generieren
- Durchführung regelmäßiger Messungen, ggf. mit Fahrzeugen im operativen Betrieb

Abb. 3: K12-Messfahrzeug der RFI

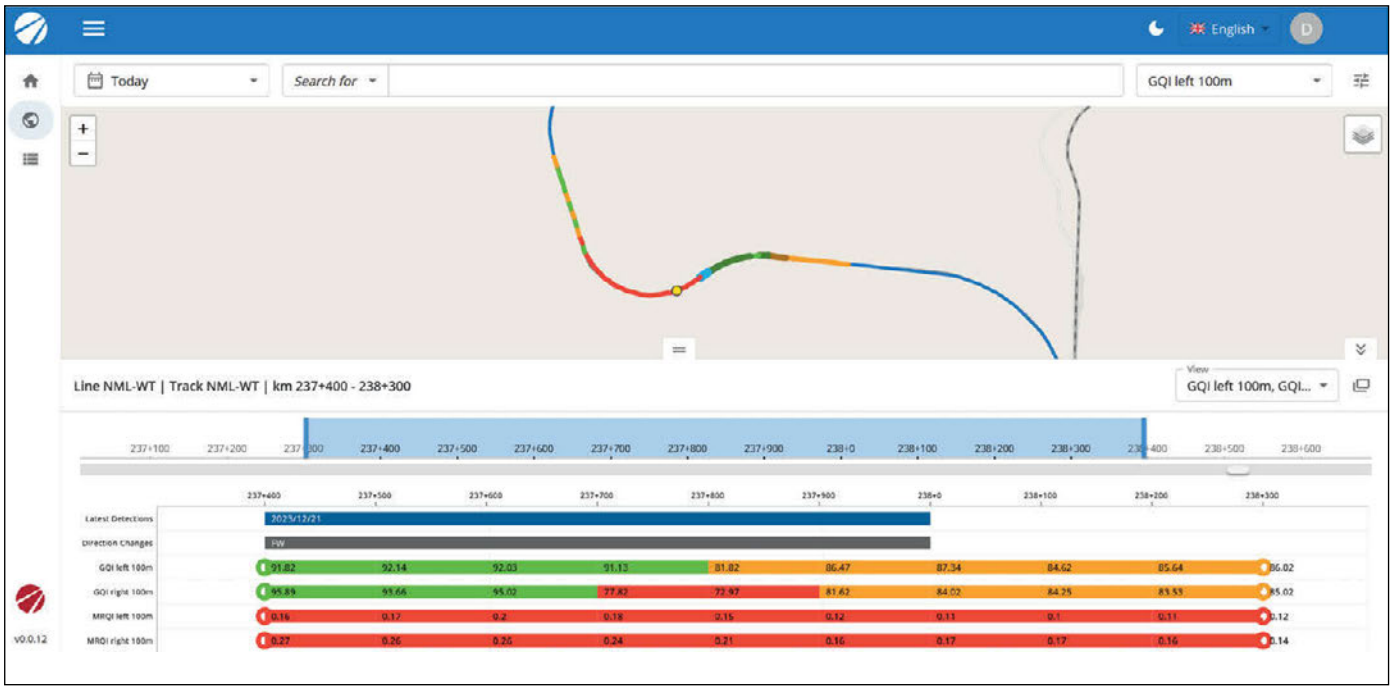

Abb. 4: Beispiel Heatmap: Darstellung zur Bündelung von Instandhaltungsmaßnahmen

- Durchführung von Messungen bei Nenngeschwindigkeit der Infrastruktur
- Nutzung modernster Datenverarbeitungs- und Analyselösungen, um Probleme frühzeitig zu erkennen beziehungsweise vorherzusagen.

Die erfolgreiche Umsetzung der oben genannten Maßnahmen zusammen mit der daraus ermöglichten Optimierung der Instandhaltungsplanung steigert die Kapazität nachweislich, reduziert ungeplante Wartungs- und Reparaturarbeiten an Gleisen deutlich und führt zu einer zunehmenden objektiven Datenbasis für die vorbeugende Instandhaltung. Sowohl hinsichtlich der reduzierten Instandhaltungskosten als auch hinsichtlich der Datenqualität und einer nachvollziehbaren Planungsgrundlage für Instandhaltungsmaßnahmen lassen sich signifikante Reduzierungen beziehungsweise Verbesserungen erzielen. ■

QUELLEN

[1] Buchbauer, D.; Mohamed, O.: Automatisierte Weicheninspektion, DER EISENBAHNINGENIEUR 11/2024

[2] Hermann, P.; Hooton, Z.; McDowell, N.; Riccardi, M.: Automated Track Inspection System Delivers Preventative Maintenance Benefits, AMPEAK 2025 (6.–9. April 2025)

[3] Auer, F.: Smart Machines High Precision Tamping, Alpine Rail Forum 2021 (6. Oktober 2021)

Omar Mohamed, M.Sc.
Direktor Geschäftsentwicklung
DMA s.r.l., IT-Turin
omohamed@dmatorino.it

David Buchbauer
Head of Technology Centre
Franz Plasser, Vermietung von Bahnbaumaschinen, AT-Purkersdorf
david.buchbauer@plassertheurer.com