

Digitale Instandhaltung von Bahnanlagen

Andreas Marx

1 Einleitung und Hintergrund

Die sowohl ökologisch wie volkswirtschaftlich erwünschte und sinnvolle Verlagerung des Verkehrsaufkommens auf die Schiene hat nicht nur kapazitive Grenzen bezüglich der Netzgröße. Mehr Verkehrsbelastung bedeutet auch eine schnellere Abnutzung der Infrastruktur und verschärft den Bedarf an wirtschaftlicher und vor allem werterhaltender Instandhaltung sowie einer deutlich progressiveren Erneuerungspolitik für Bahnanlagen.

2 Teures Bauen versus substanzerhaltende Instandhaltung

„Steigende Baukosten bedrohen Bauprojekte“ – Schlagzeilen wie diese werden wir in Zukunft häufiger lesen. Fakt ist, dass die Baupreise in der Zeit von 2015 bis Mai 2022 um mehr als 40 % gestiegen sind – bis Ende 2021 lag die Teuerung noch bei knapp 30 %. (Baupreisindizes Straßenbau in NRW, [1])

Macht es angesichts der kaum vorhersehbaren Entwicklung der Baupreise nicht viel mehr Sinn, anstelle der Erneuerung auf eine nachhaltige, weil substanzerhaltende Instandhaltung zu setzen?

Eine anerkannte Regel der Oberbauinstandhaltungspraxis beschreibt im Kern die Umsetzung einer ressourcenschonenden Methodik:

Schleifen geht vor Schweißen – Schweißen geht vor Erneuern.

Das Ziel der Instandhaltung jedenfalls lässt sich damit ganz gut realisieren:

„Das Ziel der Instandhaltung ist es, Fahrzeuge (und Anlagen)

- in einem vereinbarten *Zustand*,
- mit einer vereinbarten *Verfügbarkeit*,
- bei *geringstmöglichem wirtschaftlichen Aufwand* zur Verfügung zu stellen.“

(VDV Schrift 170)

Ressourcenschonendes Verhalten steht durchaus im Einklang mit der Wirtschaftlichkeit der Instandhaltung. Wartung, Instandsetzung und Umbau statt Neubau tragen in hohem Maße dazu bei, dass Graue Energie weiter genutzt werden kann, statt neue zu erzeugen. Als Graue Energie wird die kumulierte Primärenergie

bezeichnet, die für Rohstoffgewinnung, Herstellung, Transport, Wartung, Abriss und Entsorgung eines Anlagengutes aufgewendet werden muss. Die in Bestandsanlagen verbaute Graue Energie durch Revitalisierung möglichst lange zu nutzen, spart beispielsweise bei Gebäuden bis zu 70 % an CO₂-Emissionen.

Gemäß dem kürzlich verschärften Klimaschutzgesetz soll Deutschland bis zum Jahr 2045 klimaneutral werden. Um dieses ambitionierte Ziel zu erreichen, müssen die CO₂-Emissionen im Bausektor in den kommenden Jahren sukzessive gesenkt werden. [2]

3 Instandhaltung als betriebswirtschaftlich-technische Aufgabe

Der betriebswirtschaftlich-technische Ansatz versteht die Infrastruktur als ein Wirtschaftsgut, für das auf Basis einer positiven Ökonomik¹ eine möglichst lange wirtschaftliche Nutzungsdauer der Objekte realisiert werden soll. Jede Verlängerung der Nutzungsdauer schlägt sich durch bessere Ausnutzung der Grauen Energie, aber auch positiv in der Ökobilanz nieder. Um ein wirtschaftliches Optimum hinsichtlich Kosten und Leistung erzielen zu können, lohnt es sich, näher zu untersuchen:

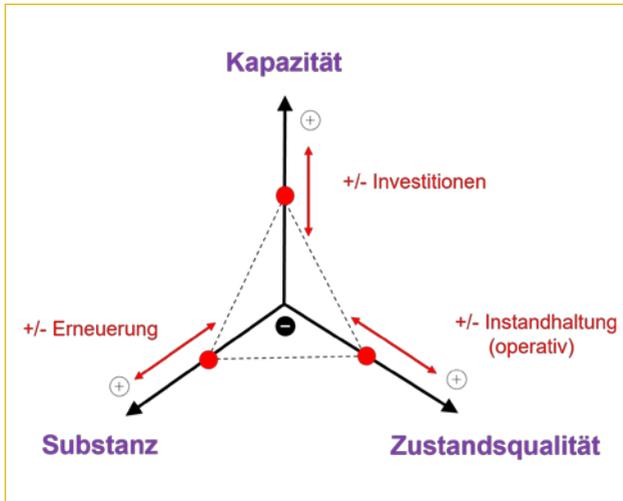


Abb. 1: Schlüsselparameter der Anlagenstrategie

Quelle: Y. Putallaz/R. Rivier

- tatsächliche Kosten von Teilen und Maßnahmen,
- Lebensdauerstruktur der Anlagenobjekte sowie
- Auswirkungen von Instandhaltungsmaßnahmen.

Der Infrastrukturunterhalt beeinflusst die Substanz der Anlagen während der gesamten Nutzungszeit. Aus der Orientierung am langfristigen Erhalt der Anlagensubstanz

¹ Die positive Ökonomik beschäftigt sich mit der empirischen Analyse und der Erklärung dessen, was ist und was sein wird (Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge). Ihre zentrale Aufgabe besteht in der Analyse der tatsächlichen Situation (Beschreibung des Ist-Zustandes, seiner Erklärung sowie aus der Vorhersage der künftigen Entwicklung (Prognose). Die Analyse wird mit der Entscheidung über einen eventuell bestehenden Handlungsbedarf abgeschlossen.

lässt sich durch gezielte Effizienzoptimierung sehr leicht ein wirklich ganzheitliches Infrastrukturmanagement (Asset Management) entwickeln.

Vorteilhaft wäre es, wenn sich der Anlagenzustand erst gar nicht so stark verschlechtern würde, dass die Substanz stark angegriffen wird, sondern rechtzeitig mit ursachengerechten Maßnahmen auf einem der Verkehrslast entsprechenden Qualitätsniveau gehalten werden könnte.

Doch wie lassen sich Art, Umfang und Zeitpunkt des Handlungsbedarfs rechtzeitig erkennen und Gegenmaßnahmen einleiten? Dazu ist es hilfreich, die Schlüsselparameter der Anlagenstrategie für den Aufbau einer vorausschauenden Instandhaltung zu verwenden, da neben der aktuellen Betriebssicherheit und Verfügbarkeit (Zustandsqualität) die mittelfristige Substanzentwicklung der Anlagenobjekte berücksichtigt werden kann. Abb. 1 zeigt, wie die Substanz durch die Erneuerung der Anlagen beeinflusst wird. Eine überalterte Infrastruktur hat einen größeren Instandhaltungsbedarf als eine neue Anlage. Die Betriebssicherheit und Verfügbarkeit bleibt dann nur durch aufwendige, zustandsverbessernde Maßnahmen im Rahmen der operativen Instandhaltung erhalten.

4 Zustandsbasierte und vorausschauende Instandhaltung

Überraschungen und Risiken, wie ungeplante Ausfälle oder plötzlich auftretende Störungen, frühzeitig zu erkennen, sie zu verhindern oder sich zumindest darauf vorzubereiten, ist die Aufgabe der vorausschauenden Instandhaltung. Die Basis dieser prädiktiven Instandhaltung² sind DATEN und das daraus ableitbare WISSEN über die konkrete Erhaltung der Anlagensubstanz.

Aber DATEN sind noch keine INFORMATIONEN: Strukturierte Daten sind hochspezifisch und werden in einem vordefinierten Format gespeichert. Unstrukturierte Daten hingegen sind ein Sammelsurium vieler verschiedener Datentypen, die in ihren nativen Formaten gespeichert werden. Strukturierte Daten können von durchschnittlichen Geschäftsanwendern genutzt werden, während unstrukturierte Daten ein Data-Science-Know-how erforderlich machen, um daraus nutzbare Informationen ableiten zu können. [3]

Je besser und strukturierter die Datenbasis, desto präziser die Analysen. Aus den verdichteten Informationen über den Zustand und die Restlebensdauer lässt sich auch eine Kernaufgabe der vorausschauenden Instandhaltung lösen, die Lebensdauerprognose. Eine solche ist ideal für einen, an der durchschnittlichen Nutzungs-

² Die vorausschauende Instandhaltung (engl. „predictive maintenance“, PM) ist als Ergänzung der periodischen als auch der zustandsabhängigen Instandhaltung zu verstehen, da PM zusätzliche Einflussfaktoren, Ereignismuster und analytische Methoden zu automatisierten Anlagenbewertungen und Prognosen berücksichtigt.

dauer der Objekte orientierten Planungshorizont – für den Oberbau sind das etwa 25 bis 30 Jahre.

Eine moderne Instandhaltungsstrategie muss neben wirtschaftlichen auch ökologische Aspekte berücksichtigen. Neben einem funktionierenden Obsoleszenzmanagement³ sollte die Graue Energie durch eine möglichst lange Nutzungsdauer und durch konsequente Wiederverwendung von Anlagen und Komponenten nutzbar bleiben.

5 Abnutzungsvorrat als Indikator der wirtschaftlichen Nutzungsdauer

Während die Zustandsqualität von Anlagen den Input für eine priorisierte Instandsetzungsentscheidung darstellt, bei der die Sicherheit und das Risiko sich vergrößernder Schäden eine Rolle spielen, ist auch der rechtzeitige Ersatz alter und instandhaltungsintensiver Anlagen für einen langfristigen Substanzerhalt entscheidend.

Die Substanz von technischen Objekten wird in DIN 310151 als Abnutzungsvorrat bezeichnet, der sich als technische Kennziffer bewerten lässt. Der aktuell noch vorhandene Abnutzungsvorrat kann als ergänzende Analyse im Rahmen von zyklischen Inspektionen als Kennziffer Abnutzungsvorrat KAV* [4] ermittelt werden. Ergänzend zur Fehlerklassifizierung wird dazu ein Abnutzungsäquivalent, das den erfassten Verschleiß im Hinblick auf dessen unwiederbringlichen Substanzverzehr bewertet, ermittelt und als aufgebrauchter Abnutzungsvorrat vom Neuzustand in Abzug gebracht. Einzelne Objektarten gehen unter Berücksichtigung der individuellen betrieblichen Rahmenbedingungen mit der entsprechenden Wichtung in die Gesamtbewertung ein.

Neben der Bewertung von Einzelobjekten erlaubt die KAV beliebig viele Abstraktionsebenen bis hin zum Gesamtnetz, was insbesondere im Mehrperiodenvergleich wertvolle Erkenntnisse liefert hinsichtlich Höhe, Qualität und Verwendung der eingesetzten Mittel und der Anlagenentwicklung über die Zeit. Vielfach eröffnen sich daraus Handlungsspielräume für eine flexible Anpassung von Bearbeitungszyklen an bestimmte Schädigungsraten bzw. bei der Wahl optimierter Bearbeitungsstrategien mit Kostensenkungspotenzial. Abb. 2 zeigt das Diagramm der wirtschaftlichen Nutzungsdauer. Die KAV errechnet sich aus der Differenz von Neuzustand (1,0 = 100 %) abzüglich Substanzverluste. Der Substanzqualität Anlagenindex (SAX) fokussiert diesen Abnutzungsvorrat auf die tatsächliche wirtschaftliche Nutzungsdauer unter Berücksichtigung kategorisierter Verkehrsbelastung (Anlagenklasse A, B, C). In Abb. 3 ist die verbleibende

³ Obsoleszenzmanagement sorgt dafür, dass künftig nicht mehr produzierte Bauteile, die in Produkte eingebaut werden, rechtzeitig durch Vergleichstypen ersetzt oder für Reparaturen bevorratet werden.

* KAV ist eine eingetragene Marke.

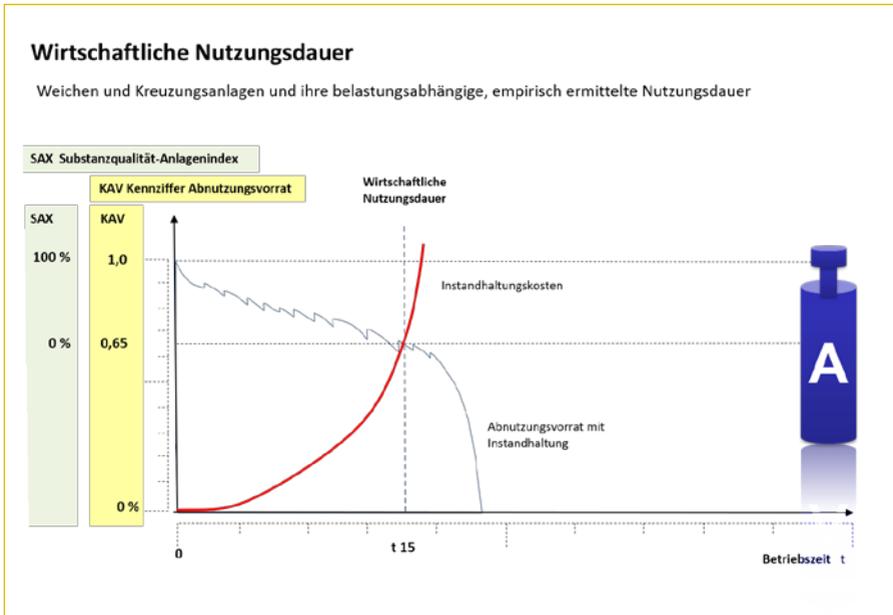


Abb. 2: Wirtschaftliche Nutzungsdauer

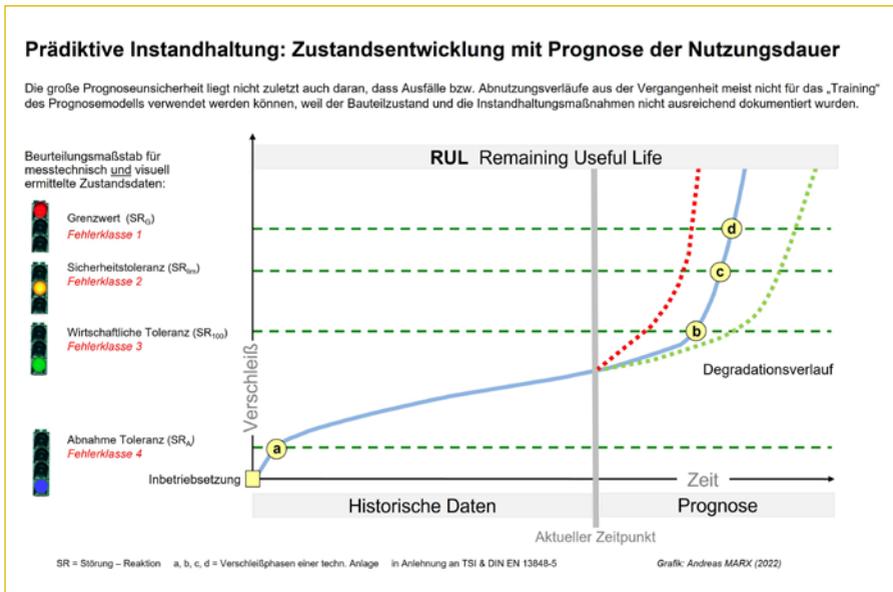


Abb. 3: Verbleibende Nutzungsdauer

Nutzungsdauer RUL dargestellt. Sie lässt sich aus der empirisch ermittelten Nutzungsdauerannahme grob bestimmen. Durch die Berücksichtigung der zyklisch bestimmten Anlagensubstanz (KAV) geht der tatsächliche Anlagenzustand in die Präzisierung der Nutzungsdauerprognose mit ein.

6 Big Picture

Big Picture bedeutet das große Ganze und meint damit das Gesamtbild und den Gesamtzusammenhang von komplexen Inhalten. Das Gesamtbild der Bahninfrastruktur setzt sich aus unterschiedlichsten Objektarten zusammen, z. B.

1. Gleisoberbau
2. Liegenschaften, Bahnhöfe, Ladestellen
3. Gebäude, Werkstätten, Unterwerke
4. Oberleitung, Masten, Signalanlagen
5. ...,

die alle in einem räumlichen und inhaltlichen Zusammenhang stehen und deshalb nicht isoliert voneinander existieren können. Jede Objektart ergänzt das Gesamtsystem um eine zusätzliche Betrachtungsebene und vervollständigt das sogenannte Big Picture.

Jede zusätzliche Betrachtungsebene steigert allerdings auch die Komplexität, und es wird für die Verantwortlichen immer schwieriger, sich ein Bild von der aktuellen Lage zu verschaffen. Ohne eine gemeinsame Datenbasis, die alle Infrastrukturobjekte in einem einzigen System vereint, droht die Fragmentierung in viele unabhängige Subsysteme, die ein Big Picture auf Dauer unmöglich macht. (Abb. 4)

Sinnvoller ist es, alle Objektarten strukturiert in einem einzigen Datenmodell mit einheitlichem Ordnungsrahmen zu verwalten, um von vorneherein System- und Medienbrüche zu vermeiden. Denn ein ganzheitliches Datenmodell erleichtert das Verständnis und die Kommunikation und trägt entscheidend zu einer effizienten Arbeitsteilung bei.

Ein Sammelsurium aus vielen fachbezogenen Apps für Einzelaufgaben ist auf Dauer nicht sinnvoll, da weder eine gemeinsame Struktur noch ein einheitlicher Ordnungsrahmen im Nachhinein hergestellt werden kann, ohne einen Großteil der bis dahin gesammelten historischen Daten zu verlieren.

Wie wichtig eine strukturierte Datenhistorie ist, lässt sich aufgrund der langen Nutzungsdauer des Oberbaus erahnen. Detaillierte Kenntnisse über die Entwicklung des Zustands und der durchgeführten Instandhaltungsmaßnahmen über den gesamten Lebenszyklus stellen einen elementaren Input für Instandhaltungsentscheidungen aller Art dar. Eine metergenaue Zuordnung geplanter und/oder durchgeführter Instandhaltungsmaßnahmen ist für Linienelemente, wie etwa Gleise



1
Gleisnetz Oberbau (Gleise und Weichen) bildet den zentralen Ordnungsrahmen, da sich sämtliche Objekte am Gleis referenzieren lassen. Der Überblick ist noch relativ einfach möglich.



2
Liegenschaften, Bahnhöfe, Ladestellen lassen die Komplexität anwachsen. Zum Einblick sind bereits mehr Hilfsmittel (Apps) erforderlich.



3
Gebäude, Werkstätten, Unterwerke. Ohne entsprechende Tools ist kein Überblick über die Infrastruktur möglich. Mehrere Apps für die einzelnen Objektarten erschweren die Arbeit.



4
Oberleitungen, Masten, Signalanlagen. Es spielt keine Rolle, wie viele Ressourcen man hat. Wenn nicht klar ist, wie diese verwendet werden, sind es nie genug. Die vielen Apps taugen auch in Kombination nicht dazu, den notwendigen Einblick in den Gesamtzusammenhang zu erhalten.



5
Lösung MR.pro bietet den ganzheitlichen Ansatz für sämtliche Anlagengestaltungen. Die Software lässt sich individuell auf die jeweilige Objektart und Aufgabe hin auslegen und skalieren.



Lösung MR.pro: Big Picture Bahninfrastruktur, Medienbruchfreie Digitalisierung erleichtert die Kommunikation und Bearbeitung durch Effizienz.

Abb. 4 : Zusammenhänge der Teildisziplinen. Mit MR.pro behalten Anlagenverantwortliche in jeder Betrachtungsebene den Blick auf das große Ganze und die Zusammenhänge der Teildisziplinen der Bahninfrastruktur (Big Picture).

oder Oberleitungen, nicht immer einfach, jedoch eine hervorragende Basis, um Instandhaltungsmaßnahmen im Einzelnen zu verfolgen und zu dokumentieren sowie Schwachstellen und Kostentreiber rechtzeitig erkennen und beseitigen zu können. Auch für die Verfolgung der Gewährleistung und von Mängelansprüchen ist eine durchgängig ortsgenaue Dokumentation äußerst hilfreich.

Diese Zusammenhänge, vielfältigen Analysen, die Pflege der Daten und die vorausschauende Instandhaltung lassen sich ab einer Gleisnetzgröße von etwa 20 km hervorragend mit datenbankgestützten Informationssystemen ortsgenau verwalten und bewirtschaften.

7 Ein zentrales System für alle Objekte der Bahninfrastruktur – statt fragmentierter Datenhaltung

Die Software MR.pro⁴ bietet eine komfortable Möglichkeit, sämtliche Informationen aller Bahninfrastrukturobjekte in strukturierter Form zu speichern, damit sich aus den Daten Ableitungen für die richtigen Entscheidungen zukunftssicher treffen lassen.

Die Erfassung, Diagnose und Maßnahmenableitung von Parametern, die einen direkten Aufschluss über den tatsächlichen Zustand der Infrastruktur geben, unterstützt MR.pro seit fast 25 Jahren (Abb. 5). Dabei werden die durch Messungen, Sicht- und Funktionsprüfungen erhobenen Erkenntnisse mit Hinblick auf ihre Auswirkungen

- auf die Betriebssicherheit und Verfügbarkeit sowie
- die aktuelle Substanz (KAV) der Anlagen

in einem standardisierten Verfahren datenbankgestützt analysiert und priorisiert sowie um spezifische Korrekturmaßnahmen ergängt.

Wesentlich ist die Abbildung der gesamten Prozesskette von der Beauftragung über die Angebotserstellung bis zur punktgenauen Abrechnung des jeweiligen technischen Platzes. Die aktuelle Softwareversion wurde um ein digitales Baustellenmanagement erweitert, mit dem Bau- und Instandhaltungsprozesse einfach und stressfrei geplant, gesteuert und abgerechnet werden können: Arbeitsvorbereitung, Bauzeitenplan, Bautagebuch, Fertigmeldung und Abrechnung von Reparaturaufträgen. Dadurch ist der Überblick im Büro wie auf der Baustelle gewährleistet.

MR.pro beherrscht neben der dynamischen Segmentierung von Linienelementen die korrekte datentechnische Behandlung von Projektdaten und Objektdaten. Durch die konsequente Ankopplung von projektbezogenen erhobenen Daten mit

⁴ Die Inspektions- und Instandhaltungsmanagement-Software MR.pro®, ein Hybrid aus Expertensystem und technischem Informationssystem, speziell zugeschnitten auf ein praxisnahes Anlagenmanagement für die gesamte Bahninfrastruktur (www.mr-pro.de)



Abb. 5: MR.pro-Systembild

MR.pro unterstützt als zentrale Datensammelstelle (Data Warehouse) und Analysesystem (Data Mining) das Instandhaltungsmanagement der gesamten Gleisinfrastruktur bei der richtigen, nachvollziehbaren und technisch untermauerten Entscheidung.

den jeweiligen Anlagenobjekten wird der Objektbezug durch den gesamten Instandhaltungsprozess durchgehend aufrechterhalten. D. h., von der Zustandserfassung bis zur Fertigmeldung der Instandsetzung ist die Software in der Lage, sämtliche Projektdaten, wie Maßnahme, Ort und Zeit, automatisch mit dem jeweils behandelten Anlagenobjekt zu verknüpfen, damit die Anlagenhistorie und Bestandsdokumentation automatisch, ohne zusätzlichen Datenpflegeaufwand, fortgeschrieben wird.

Das der Software MR.pro zugrunde liegende Instandhaltungskonzept aus Zustands- und Anlagenklassifizierung unterstützt nicht nur die Nutzungsdauerverlängerung, sondern auch ein Material- und Komponenten-Kreislaufsystem, bei dem ausgebaute Anlagenobjekte beispielsweise in weniger stark beanspruchten Bereichen wiederverwendet werden und damit Graue Energie sinnvoll weitergenutzt wird.

MR.pro ermöglicht die Analyse von Daten aus unterschiedlichsten Quellen, z. B. Schienenquerprofil-, Wirbelstrom- und Ultraschallmesswerte oder Ergebnisse der permanenten Gleisüberwachung (wayside track monitoring) sowie deren Implementierung in die Objekthistorie der MR.pro-Datenbank.

Die Assetmanagement-Software bietet sowohl ein aktives Nutzungsdauermanagement als auch die Ermittlung der KAV zur Prognostizierung der wirtschaft-

lichen Nutzungsdauer jedes einzelnen Anlageobjekts. Der Lebenszyklus von Objekten, Komponenten und Einzelteilen lässt sich bis ins Detail exakt verfolgen und für ein Obsoleszenz-Management verwenden.

8 Output entscheidend für das Datenbankdesign

Die Digitalisierung der Bahninfrastruktur startet idealerweise mit der objektbasierten Erfassung und Segmentierung der vorhandenen Gleise und Gleiskonstruktionen. Wichtig ist dabei, eine gemeinsame Datenbasis zu schaffen, deren Granularität in einer 1:1 Beziehung zum beabsichtigten Detaillierungsgrad der Anlageninstandhaltung stehen sollte. Um hier Klarheit zu schaffen, ist die Beantwortung der folgenden Fragen sinnvoll:

- Welche Informationen soll das technische Informationssystem zum Management der Instandhaltung pro Objekt zur Verfügung stellen?
- In welcher Qualität (belastbar und aktuell) stehen Auswertung und Darstellung zur Verfügung?
- Inwieweit können historische Daten übernommen werden?
- Wie ist die Erfassung, Haltung und Pflege der Daten organisiert?
- Welche Schnittstellen zu Subsystemen, Messgeräten oder Abteilungen sind zu erwarten?
- Ist ein durchgehender Workflow von der Erfassung über die Auswertung, Auslösung und Durchführung bis zur aktualisierten Dokumentation möglich – oder gibt es Medienbrüche?
- Werden die Datenbanken sinnhaft ausgewertet und bieten wertvollen Input für das Wissensmanagement?

9 Zusammenfassung

Fotoberge durchwühlen, Word-Dokumente formatieren, Excel-Listen ausfüllen – wer kennt das nicht? Dort, wo verstreute Datenhaltung und multiversional konkurrierende Datenstände vorgehalten werden, gehören Mehrfacherfassung, nicht nachvollziehbare Werte, Unsauberkeiten und deren Beseitigung zur Daueraufgabe.

Gerade für komplexe Instandhaltungsaufgaben, wie sie historisch gewachsene Bahnnetze mit sich bringen, werden intelligente Instrumente benötigt, die eine wirtschaftliche Instandhaltung der komplexen Bahninfrastruktur ermöglichen. Effizient, verständlich und gut handhabbar – also einfach und zuverlässig.

Die Infrastruktur der Bahnen ist ein komplexes Zusammenspiel von vielen unterschiedlichen Fachdisziplinen, die jeweils unterschiedliche Sichtweisen auf die Netzobjekte haben. Verwendet jeder einzelne Fachbereich eigene digitale Werkzeuge, führt das in der Regel zu einer Zersplitterung der Datenhaltung. Um aber die Kardinalfehler Überraschung und Verzettelung zu vermeiden, ist von Anfang an die Fokus-

sierung und Beschränkung auf eine gemeinsame Datenbasis für den nachhaltigen Erfolg entscheidend.

MR.pro ist auf das Gesamtsystem Bahninfrastruktur ausgelegt und dennoch so aufgebaut, dass es den spezifischen Anforderungen jeder Anlagenart und -gattung entspricht. Damit ist die Software in der Lage, den Anlagenverantwortlichen alle notwendigen Informationen zu geben und Zusammenhänge aufzuzeigen (Big Picture). Realisiert wird dies durch einen integrierten Workflow mit einem minimalen Datenpflegeaufwand, da die einmal erfassten Daten durchgängig im gesamten Instandhaltungsprozess verwendet werden und eine Doppelerfassung entfällt.

MR.pro wird von Bahntechnikspezialisten entwickelt, die mit den Bedürfnissen der Anwender vertraut sind. Das integrierte Expertensystem macht es zu einer Art „Schwamm“ für das Erfahrungswissen der Fachkräfte in den Verkehrsunternehmen. Es verfügt zudem über Schnittstellen zu ERP-Systemen, wie SAP.

Die Software bildet die gesamte Prozesskette der Instandhaltung ab und stellt alle Informationen bereit, die für ein modernes Assetmanagement erforderlich sind.

Quellen

- [1] <https://www.it.nrw/statistik/eckdaten/ausgewaehlte-baupreisindizes-bauleistungen-am-bauwerk-2038>
- [2] <https://www.bauenimbestand24.de/die-oekobilanz-spricht-fuer-die-sanierung-09092021>
- [3] <https://www.talend.com/de/resources/strukturierte-vs-unstrukturierte-daten/>
- [4] Marx, A.: „Prognose und Prävention – ein ganzheitlicher Ansatz in der Instandhaltung zur Sicherung der Substanzqualität (Teil 1)“ in ZEVrail 137 (2013)



Andreas Marx
Geschäftsführer
Rhomberg Sersa Vossloh GmbH, Föhren
andreas.marx@rsv.gmbh