

Zielorientierte Instandhaltung Fahrweg Schiene (Maintenance by Objectives)

– Teil 2* –

Anlagenqualität überwachen

Von Andreas Marx, Longuich**)

Zielkontrolle – Eigen- und Fremdleistung – Zustandsbeurteilung, Diagnose – Stand der Messtechnik für Weichen – Zustandserfassung und -beurteilung von Weichen und Kreuzungen (Punktobjekte) – Stand der Gleismesstechnik – Zustandserfassung und -beurteilung von Gleisen (Streckenobjekte) – Zusammenfassung

Die Infrastrukturinstandhaltung verfolgt das Ziel, eine zwischen Anlageneigentümer und Instandhalter vereinbarte Anlagenqualität und -verfügbarkeit mit geringsten Kosten zu realisieren – also eine Instandhaltung mit konkreten Zielvorgaben. Nach der in Teil 1 beschriebenen Zieldefinition und -vereinbarung ist die Zielkontrolle ein unverzichtbarer Bestandteil. Da Ziele messbar, erreichbar und überprüfbar sein müssen, muss die Qualität der Erfassung, Beurteilung, Bewertung und Dokumentation des Anlagenzustands daran angepasst werden.

1. Zielkontrolle

Zur Vereinbarung von Anlagenqualität gehört neben der eigentlichen Zieldefinition der regelmäßige Abgleich zwischen Soll- und Ist-Zustand. Dazu sind periodische Zustandserfassungen und Beurteilungen der Ergebnisse notwendig.

Für den Fahrweg Schiene werden zur Wahrung der gesetzlichen Nachweispflicht regelmäßig quantitative (messen) und qualitative (visuelle) Prüfungen durchgeführt. Dabei wird der aktuelle Betriebszustand festgestellt und dokumentiert. Neben der einfachsten Variante, dem reinen Sicherheits-Check, bietet eine quantitative und qualitative Inspektion die Möglichkeit, Verschleißzustände zu dokumentieren und entsprechende Maßnahmen rechtzeitig einzuleiten. Damit besteht die Chance, sich anbahnende Schäden aufgrund von Warnsignalen frühzeitig zu erkennen und noch vor ihrem Anwachsen

kostengünstig zu beseitigen. Die Inspektion dient somit zur systematischen Ermittlung des Instandsetzungsbedarfs und ist Auslöser – quasi Dreh- und Angelpunkt – der zustandsabhängigen Instandhaltung.

Für eine klar verständliche Bewertung und Dokumentation von Inspektionsergebnissen empfiehlt sich die Verwendung von Fehlerklassen zur Priorisierung festgestellter Abweichungen vom Sollzustand (siehe Teil 1). Mit dieser Standardisierung lassen sich zudem die subjektiven Einflüsse so weit reduzieren, dass man von einer reproduzierbaren Zustandsbeschreibung ausgehen kann.

Zur Steuerung der Instandhaltung benötigt der Instandhalter in der Regel nicht immer eine umfassende Beschreibung des Ist-Zustandes der einzelnen Anlagen, sondern in notwendigem Umfang und mit hinreichender Genauigkeit, quasi eine zielorientierte Auswahl von Zustandsdaten. Diese Auswahl entsteht durch Inspektionen und Schwachstellenanalysen (i.S.v. Erkennung), eventuell unterstützt durch eine Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA). Mit Hilfe der FMEA-Methode können mögliche Probleme, deren Risiken und Folgen vor ihrer Entstehung systematisch und vollständig erfasst werden [1].

Für Punktobjekte, wie Weichen und Kreuzungen, empfiehlt sich generell eine Positivprüfung (vollständige Abarbeitung einer Checkliste), da die Funktion wichtiger Komponenten überprüft werden muss und Weichen eine im Vergleich zum Gleis höhere Fehlermöglichkeit pro Leistungslänge aufweisen.

Für Linienobjekte wie Gleise hat sich die Beschränkung auf die Erfassung von Mängeln als Abweichungen vom Sollzustand bewährt.

2. Eigen- oder Fremdleistung

Die Inspektion ist die zentrale Informationsquelle jeder zustandsabhängigen Instandhaltung. Nicht erfasste Mängel finden im weiteren Planungs- und Steuerungsprozess keine Berücksichtigung. Sind diese sicherheitsrelevant, drohen Störungen und ausfallbedingte Sicherheitsrisiken – auf jeden Fall eine Verringerung der wirtschaftlichen Lebensdauer von Anlagenobjekten. Von daher bestehen besondere Anforderungen an eine sorgfältige Ausführung von Inspektionsleistungen. Die Frage, wer die Zustandserfassung und -beurteilung durchführt, berührt sowohl die Qualität als auch Haftungsfragen.

Haftungsfragen stellen sich bei jeder Form von Delegation – egal, ob die Instandhaltung unternehmensintern oder von Dritten geleistet wird. Zur Vermeidung von Organisationsverschulden ist auf die Einhaltung der Sorgfaltspflichten hinzuweisen: Normgerechte Auswahl, Unterweisung und Überwachung (normgerecht im Sinne technischer Regelwerke).

Bei der Vergabe an einen Unternehmer muss sich im Gegensatz zur Selbstdurchführung der Vergebende klar darüber sein, dass er auf die Auswahl der durchführenden Personen und die Auswahl der angewandten Technik im Rahmen der VOB Einfluss hat. Er kann und sollte die technische Ausrüstung des Unternehmens, die Datenbehandlung und die Ausbildung der Personen, die Prüfungen ausführen, vorschreiben. Die Grenzen zur groben Fahrlässigkeit tastet ein Sicherheitsverantwortlicher an, der ein Prüfunternehmen auswählt oder billigend in Kauf nimmt, dessen Messmethoden (Geräte, Datenverarbeitung usw.) oder Personal für die Aufgabe ungeeignet ist, so dass sicher-

*) Teil 1 ist in Verkehr und Technik, Heft 5/06 erschienen.

**) Andreas Marx, Schreck-Mieves GmbH, Geschäftsbereichsleiter Instandhaltung & Management (IH&M), Longuich.

heitsrelevante Fehler in Größenordnungen nicht festgestellt werden [2].

Dieser Umstand besteht gleichermaßen, wenn bei Inspektion in Eigenleistung Verfahren oder Gerätetechnik z.B. aus Kostengründen angewendet werden, die nicht dem Stand der Technik entsprechen oder für die Aufgabe ungeeignet sind.

Die für eine korrekte und vollständige Zustandserfassung, -beurteilung und -bewertung erforderlichen Mindestqualifikationen sollten genauso wie die Qualitätskriterien für die Messtechnik und die Verarbeitung der Messdaten schriftlich fixiert und die ordnungsgemäße Einhaltung regelmäßig verifiziert werden:

Auswahl:

- Qualifikation des eingesetzten Personals (Ausbildung, Sachkunde, Erfahrung, regelmäßige Auffrischung des Wissens),
- Zulassung und Einsatzbereich der verwendeten Messtechnik (funktionierende Kalibrierung und Messgeräteüberwachung),
- Datenbehandlung hinsichtlich Sicherheit, Reproduzierbarkeit und Manipulierbarkeit primärer Messdaten,
- Zuverlässigkeit der Dokumentation und der Datenverarbeitung.

Unterweisung:

- Unfallverhütung, Einweisung in die örtlichen Gegebenheiten.

Überwachung:

- Anwendung der Qualitätskriterien während der Prüfung,

- Plausibilität von Prüfungsergebnissen (Stichproben),
- Vollständigkeit der Daten und Vermeidung von Datenredundanz.

3. Zustandsbeurteilung – Diagnose

Die Zustandserfassung von Lage, Geometrie und Schienenprofil von Gleisen ist kontinuierlich und präzise möglich. Für Weichen existieren sogar stationäre und automatisierte Überwachungseinrichtungen. Die Zustandserfassung erfolgt aber weiterhin und maßgeblich durch menschliche Beobachtung bei regelmäßigen Begehungen und Befahrungen [3].

Messgrößen sind wichtig zum geometrischen Nachweis der Anlagensicherheit, zur Erkennung möglicher Problemstellen und zur Bestätigung augenscheinlich festgestellter Mängel. Aus den reinen Messergebnissen lässt sich aber weder eine kurzfristige noch eine langfristige Instandhaltungsplanung ableiten. Zur richtigen Beurteilung und Bewertung des Oberbaus werden deshalb wirkungsvolle Diagnoseinstrumente benötigt. Neben der Interpretation der Prüfbefunde durch den Fachmann ist deren Verdichtung und Verifizierung unerlässlich – ansonsten vernebeln Unmengen an Daten den Blick und führen zu falschen Schlüssen.

Wie lassen sich die Datenmassen bündigen und daraus brauchbare Informationen ableiten, die sich zur Planung, Budgetierung, Steuerung und Disposition der Instandhaltung und vor allem als belastbarer Sicherheitsnachweis nutzen lassen?

Belastbar im Sinne von quantitativer (geometrische) und qualitativer (funktionale) Sicherheit. Funktionale Sicherheit ist gem. DIN EN 61508 (VDE 0803) die Sicherheit vor Gefährdung, die aus der (fehlerhaften) Funktion einer Einrichtung resultiert.

Für die Bewertung von Messergebnissen, die Sicherheitsbeurteilung und die Ableitung von Instandsetzungsbedarf sind eine direkte Sichtprüfung und die Kompetenz erfahrener Fachleute erforderlich. Die augenscheinliche Beurteilung des materiellen und geometrischen Zustands erfordert neben Diagnosekompetenz vor allem Erfahrungswissen – das geschulte Auge.

Genau wie beim Fiebermessen: Die Messung an sich gibt noch keinen Hinweis auf die Art der Krankheit – erst die fachmännische Diagnose des Arztes bringt Klarheit und ermöglicht eine ursachengerechte und wirkungsvolle Therapie.

Der wesentliche Nachteil der menschlichen Zustandsbeurteilung ist die fehlende Objektivität. Der subjektive Eindruck hat eine miserable Wiederholgenauigkeit und ist mehr oder weniger stark von persönlicher Erfahrung, Tagesform, Stimmungslage, Wetter usw. abhängig.

In der Praxis wird die Sichtprüfung in der Hauptsache mit vorbereiteten Checklisten in Papierform durchgeführt und anschließend von Hand in Tabellenkalkulationsprogramme, wie Microsoft Excel^{®1)}, eingegeben. Abgesehen von der literarischen Freiheit birgt jeder Medienwechsel zusätzlichen Aufwand für die Datenerfassung und die Gefahr von Übertragungsfehlern und Mehrfacheingaben in sich.

Unter Anwendung der in Teil 1 beschriebenen Klassifizierungsmethode für Mängel wird aus der Einschätzung des Fachmanns eine objektive Zustandsbeurteilung. Die Regeln entstammen dem Fehlerklassenkatalog, der die Zielvereinbarungen der beteiligten Fachabteilungen widerspiegelt. Dazu müssen die Fehlerklasseninformationen während des Erfassungsprozesses zur Verfügung stehen (Bild 1).

4. Stand der Messtechnik für Weichen

Das digitale Zeitalter der Weichenmessung begann vor 15 Jahren mit der Einführung des 1. MessReg Systems²⁾. Bis dahin do-



Bild 1: Zur strukturierten Erfassung von Stammdaten und Zustandsdaten mit MR.pro[®] sind robuste Mini-Notebooks geeignet

1) Microsoft Excel[®] ist eine eingetragene Marke der Microsoft Corp.

2) MessReg[®] ist eine Marke der Vogel & Plöttscher GmbH.

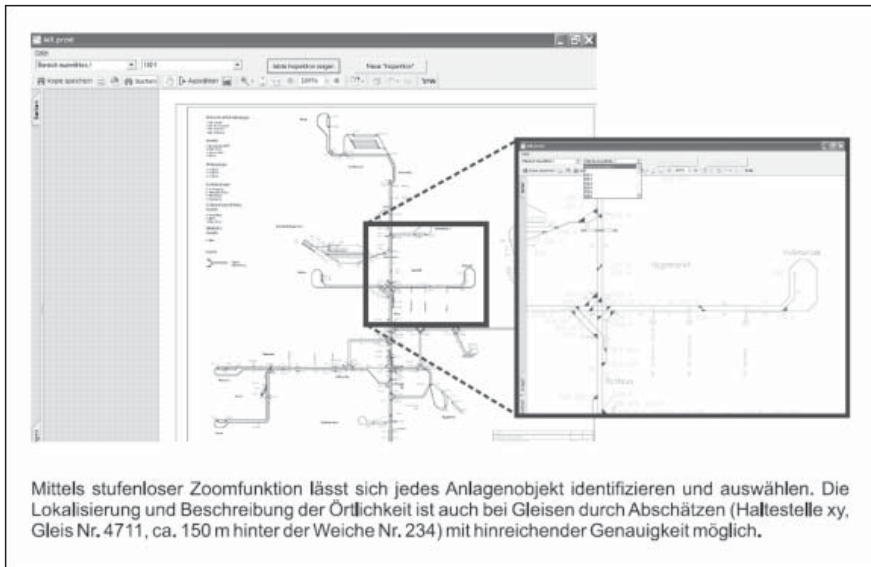


Bild 2: Zur Identifikation einzelner Anlagenobjekte können digitale Lagepläne in MR.pro® eingebunden werden

minierte die Weichenkarteikarte – ein DIN A 4 großer, bedruckter Karton, die Anlagendokumentation der Betreiber.

Die elektronische Erfassung und Speicherung der Weichenquermaße, das sind in der Hauptsache Spur-, Rillen- und Leitweiten, gehören seitdem zum Stand der Technik. Sie sollen vor allem Datensicherheit gewährleisten (keine Zahlendreher, Übertragungsfehler usw.) und neben der Auswertung einen besseren Mehrperiodenvergleich ermöglichen. Die Wiederholgenauigkeit der digitalen Messung ist mit +/- 0,5 mm relativ hoch. Neben elektronischen Messgeräten (Hardware), bei denen die Ergebnisse von Messensoren ermittelt und online gespeichert werden, kamen auch reine Softwarelösungen auf den Markt, die allerdings manuelle Eingaben von zuvor analog ermittelten und abgelesenen Messergebnissen in Tabellen erfordern.

Die Betriebssoftware dieser Systeme hat entscheidende Nachteile, sie konzentriert sich nahezu ausschließlich auf die messtechnische Erfassung (quantitativ) und die Verwaltung der Messdaten. Insbesondere die visuelle Prüfung und Einschätzung werden allenfalls nebensächlich behandelt und gestalten sich entsprechend umständlich und zeitaufwändig. Daher ist die Ergänzung durch datenbankgestützte, auf den Einsatzfall spezialisierte Erfassungs- und Diagnosesysteme sinnvoll.

Neben der rechnergestützten Erfassung und Speicherung der Messergebnisse ist eine zielgerichtete Analyse der Daten und deren zuverlässige Dokumentation zwingend notwendig.

Die Weichenmessung wird darüber hinaus durch die Fülle unterschiedlicher Bauformen erschwert, die bei der Zuordnung der Prüfgrundlagen (Sollmaße und Toleranzen) häufig zu gravierenden Fehlern führt. Für die gängige Weichengeometrie EW S 49-190-1:9 existieren beispielsweise mehr als 20 verschiedene Bauformen und damit ebenso viele Basis-Prüfkarten mit unterschiedlichen Sollmaß- und Toleranzvorgaben. Die Chancen, ohne den Original-Lageplan der Weiche die richtige Prüfkarte zuzuordnen, stehen demnach höchstens 1:20. Im Ergebnis führen falsche Prüfvorgaben zu einer falschen Zustandseinschätzung von Weichen und Kreuzungen und in der Praxis zu sinnlosen, meist teuren Instandsetzungen und in der Folge zu deutlich negativ verändertem Verschleißverhalten der geometrisch „umgestalteten“ Anlagen. Die Verifizierung von Prüfunterlagen sollte deshalb qualifizierten Weichentechnikern, Fachpersonal aus Weichenkonstruktion oder -produktion, vorbehalten sein. In diesem Zusammenhang zeigen sich die Vorteile einer Anlagenstandardisierung, die leider viel zu häufig kurzfristigen Beschaffungsvorteilen geopfert wird.

5. Zustandserfassung und -beurteilung von Weichen und Kreuzungen (Punktobjekte)

Moderne Verfahren und ausgereifte Datenbanksysteme wie MR.pro®Weiche³⁾ unterstützen die Instandhaltung wirkungsvoll bei der Realisierung wirtschaftlicher und transparenter Lösungen. Ideal ist eine

datenbankgestützte Erfassung auf digitalen Endgeräten unmittelbar während der Sichtprüfung oder Begehung. Robuste Outdoor-Notebooks mit Touchscreen und Tastatur, wie das Panasonic Toughbook CF 18, sind hierzu gut geeignet. Durch Verwendung eines 5-Punkt Tragesystems wird die Arbeit trotz des zusätzlichen Gewichts des Notebooks (2,1 kg) kaum beeinflusst.

Das schnelle Auffinden des zu prüfenden Anlagenobjekts ist obligatorisch – ein digitaler Gleislage- oder Netzplan, die genaue Beschreibung des Anlagenobjekts und ein „Passfoto“ der Anlage sind bei der Auswahl hilfreich (Bild 2).

Sämtliche Stammdaten des Anlagenobjekts werden zwecks Verifizierung oder Ergänzung angezeigt. Die Feldinhalte können frei definiert werden und ermöglichen die Erfassung von Zusatzinformationen je nach Bedarf (Bild 3).

Die Zustandsaufnahme ist ergonomisch so gestaltet, dass sie schnell und mühelos von statten geht – schließlich hält sich der Prüfer häufig in Gefahrenbereichen auf.

Vordefinierte und kodierte Verschleißzustände (Mangelcode) und deren Instandsetzungsempfehlung (Instandsetzungscode) reduzieren den Eingabeaufwand enorm, da der Prüfer seine Auswahl direkt aus der Dropdown-Liste am Touchscreen-Computerbildschirm vornimmt. Der direkte Bezug zum Prüfobjekt (Kontext) grenzt dabei die Auswahl des richtigen Inhalts so weit ein, so dass kein Suchen notwendig ist. Für die Zustandserfassung ist somit nur ein minimaler Zeitaufwand erforderlich. Eine durchdachte Dialogführung sorgt dafür, dass nichts übersehen wird, während die integrierte Plausibilitätsprüfung eventuellen Fehlbedienungen vorbeugt.

Die Bewertung und Klassifizierung festgestellter Mängel ist bereits im Vorfeld in Abstimmung mit dem Bahnbetrieb erfolgt und 1:1 mit dem Mangelcode von MR.pro® verknüpft. Der Prüfer übernimmt die Fehlerklasse automatisch bei der Erfassung der Mängel. Damit kommt die Sichtprüfung einer objektiven Einschätzung sehr nahe. Im Zweifelsfall hilft ein Blick in den abgebildeten Mangelkatalog bei der richtigen Auswahl. Eigene Digitalfotos können zur Verdeutlichung wichtiger Mängel jedem

3) MR.pro® ist eine eingetragene Marke der Schreck-Mieves GmbH. Neben der Zustandserfassung für Weichen mit MR.pro®Weiche wurde MR.pro®Gleis für die digitale Erfassung von Stammdaten und Zustandsdaten der Gleise aus der täglichen Praxis der Weichen- und Gleisinspektion heraus entwickelt.

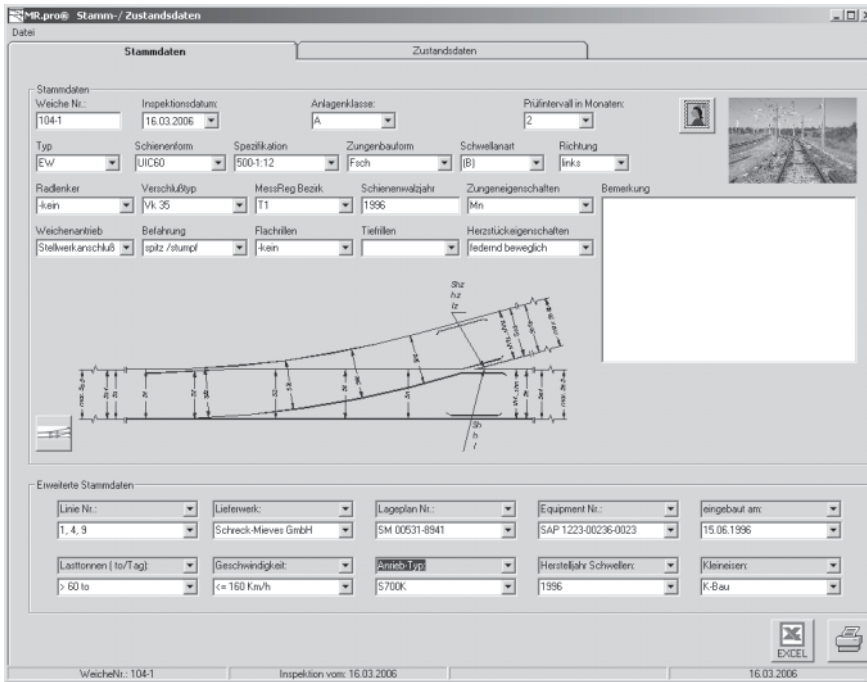


Bild 3: Die Stammdatenerfassung einer Weiche mit der Inspektionssoftware MR.pro®Weiche

Anlagenobjekt und Mangel direkt zugeordnet werden.

Trotz der Struktur- und Inhaltsvorgaben ist Flexibilität bei der Eingabe erforderlich – freier Text ist jederzeit möglich, um nicht zusätzlich mit Papier hantieren zu müssen. Die Aktualität des zugrunde liegenden Mängelkatalogs wird durch Fortschreibung sichergestellt, indem die während der Zustandserfassung händisch eingepflegten Mängel nach ihrer Sicher-

heitsrelevanz und hinsichtlich ihres Abnutzungsäquivalents bewertet und offline in die Datenbank eingepflegt werden.

Und weil das Ergebnis der letzten Prüfung eine wichtige Information darstellt, ist dieses hinterlegt – zur Verwechslung kommt es nicht, weil das alte Ergebnis farbcodiert ist. Die Sichtprüfungen sind immer vollständig, da die Eingabemaske erst dann verlassen werden kann, wenn alle Pflichtfelder ausgefüllt sind. Nach der

vollständigen Zustandserfassung lässt sich der aktuelle Abnutzungsvorrat des Anlagenobjekts als Kennziffer Abnutzungsvorrat KAV⁴⁾ ermitteln (Bild 4).

Die mühelose Übertragung und Integration in den vorhandenen Datenbestand schließlich stellt sicher, dass nichts liegen bleibt und die Daten zeitnah zur Weiterverarbeitung zur Verfügung stehen. Unabhängig davon, in welches Informations- oder Planungssystem die Zustandsdaten übertragen werden, ist als Ausgabe eine Standard-Anlagendokumentation in Form von Excel Arbeitsmappen implementiert. Hierbei werden für alle Anlagenobjekte einzelne Arbeitsmappen, bestehend aus 1 Arbeitsblatt für die Messergebnisse sowie n Arbeitsblättern für die Dokumentation jeder einzelnen Prüfung, angelegt. Bereits bestehende Arbeitsmappen schreibt MR.pro®Weiche automatisch fort, indem die aktuellen Daten eingespielt und angehängt werden. Programmunabhängige Auswertungen lassen sich durch eine standardmäßige Excel-Exportfunktion problemlos generieren (Bild 5).

Neben der Fortschreibung dieser „Lebensakten“ wurde eine Reihe weiterer Funktionen realisiert, z.B. der Sammelausdruck aller Messergebnisse und Anlagen dokumentationen oder die so genannte Sammelauswertung. Darunter ist eine Zusammenfassung der Inspektionsergebnisse aller Weichen in 2 Tabellen, quantitative und qualitative Prüfergebnisse, zu verstehen. Die Sammelauswertung bietet einen guten Überblick über den aktuellen Anlagenzustand und den Instandsetzungsbedarf. Mit den Excel Standardfunktionen (Autofilter und Sortierung) lässt sich daraus schnell und bequem eine Priorisierung des Instandsetzungsbedarfs und eine Fehlerstatistik erstellen.

Inspektionsfristen verwaltet das System übersichtlich und hilft bei der Ausführungsplanung.

Statistische Auswertungen erleichtern den Überblick und die Trendanalyse. Entwicklungstendenzen lassen sich in Mehrperiodenvergleichen sauber analysieren und darstellen (Bild 6).

Die erfassten, verdichteten und bewerteten Mängel gehen 1:1 als konkretisierter Handlungsbedarf in den Planungsprozess der Instandhaltung ein. Die Instandhaltungsplanung kann händisch unter Verwendung

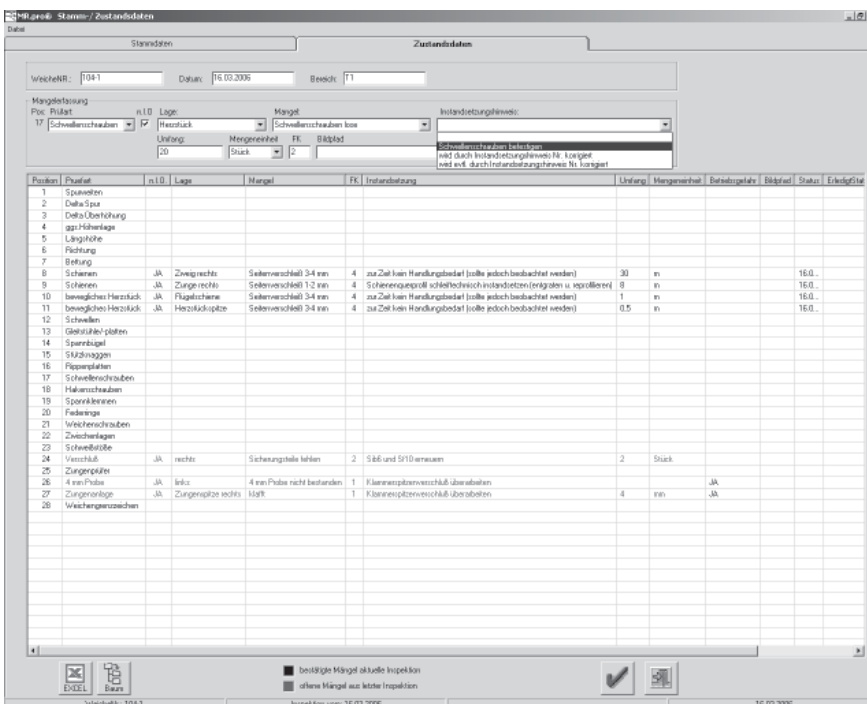


Bild 4: Die Zustandserfassung mit MR.pro®Weiche. Kodierte und klassifizierte Mangelbilder und Instandsetzungshinweise erleichtern die Aufnahme und objektivieren die augenscheinliche Zustandsbeurteilung

4) Kennziffer Abnutzungsvorrat KAV ist ein von Schreck-Mieves GmbH entwickeltes Verfahren zur Bewertung- und Verdichtung des Anlagenzustands.

von Tabellenkalkulationsprogrammen oder mittels gesonderter Planungs- und Steuerungssoftware erfolgen. Unabhängig davon gestaltet sich die Instandsetzungsentscheidung eindeutig und jederzeit nachvollziehbar, da sie aus der Kombination von Anlagen- und Fehlerklassen eine eindeutige Priorisierung der Instandsetzungsmaßnahmen unter Beachtung der zwischen Anlageneigner und Instandhalter vereinbarten Instandsetzungszeiträume ermöglicht.

Neben den priorisierten Mängeln können Informationen zum Anlagenalter und dem aktuellen Abnutzungsvorrat (KAV) in den Entscheidungsprozess einfließen, insbesondere zur Beantwortung der Frage „Einzelfehlerbeseitigung oder Grundinstandsetzung?“.

Neben Zustandsinformationen kann MR.pro® auch Stammdaten bereitstellen, um sie an andere Datenbanksysteme, z.B. Geographische Informationssysteme (GIS), zu übergeben.

6. Stand der Gleismesstechnik

Bei der geometrischen Gleislage wird zwischen äußerer und innerer Geometrie der Gleislage unterschieden. Die äußere Geometrie beschreibt die Gleislage in Referenz zu geodätisch vermessenen Festpunkten. Die innere Geometrie beschreibt die Form des Gleiskörpers [4].

Die innere Geometrie wird mit Messfahrzeugen kontinuierlich gemessen. Die

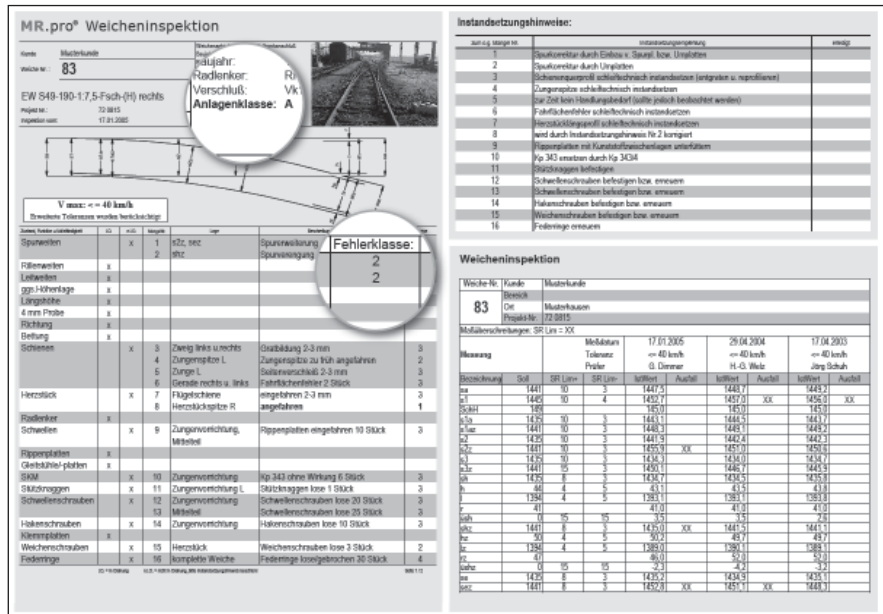


Bild 5: Die MR.pro® Weichendokumentation von Sichtprüfung und Messergebnissen mit Anlagen- und Fehlerklassen sowie Therapievorschlagen

Beschreibung der Messgerätevielfalt würde den Rahmen dieses Beitrags sprengen, deshalb wird nur auf einige wesentliche Unterschiede der Messsysteme eingegangen:

- analoge (grafische) und digitale (numerische),
- Kleingeräte (unbelastet) und Messfahrzeuge (belastet).

Analoge Systeme werden meist in Form von Mehrkanalschreibern (MKS) für die Steuerung und Dokumentation durchgeführter Großmaschinenleistungen, z.B.

von Stopfmaschinen, eingesetzt. Bei der Gleisinspektion hat sich die digitale kontinuierliche Messung durchgesetzt. Handling, Weiterverarbeitung und Archivierung der elektronischen Messdaten erschließen dem Anwender ein sehr viel größeres Spektrum für die Auswertung der Messdaten. Ohne visuelle Unterstützung lassen sich Linienobjekte jedoch nur schwer einschätzen, deshalb kommt einer übersichtlichen grafischen Aufbereitung der Ergebnisse eine große Bedeutung zu. Die Darstellung der Zusammenhänge zwischen mehreren Messgrößen, z.B. Spurweite, Überhöhung und Richtung ist zur Interpretation der Messergebnisse genauso wichtig wie die Kenntnis der Lage von Gleiskonstruktionen und Bauwerken sowie Informationen zur Bauform (Gleisspezifikation). Diesen Anforderungen wird eine gestaffelte Darstellung mehrerer Messparameter über der Messstrecke gerecht.

Werden die Messergebnisse mehrerer Jahre in einem Diagramm überlagert, lassen sich Zustandsentwicklungen gut ablesen. Auch mehrstufige Toleranzen (SR_{100} , SR_{lim} , SR_G) sowie radiusabhängig differenzierte Sollmaß- und Toleranzvorgaben, z.B. Spurerweiterung im Bogen, sollten grafisch dargestellt werden und numerisch auswertbar sein.

Allerdings verursacht die kontinuierliche elektronische Gleismessung erhebliche Datenmengen. Im Schnitt fallen pro km Gleis 1 Megabyte an primären Messdaten an. Je nach Art und Umfang der Visualisierung und der Überlagerung mehr-

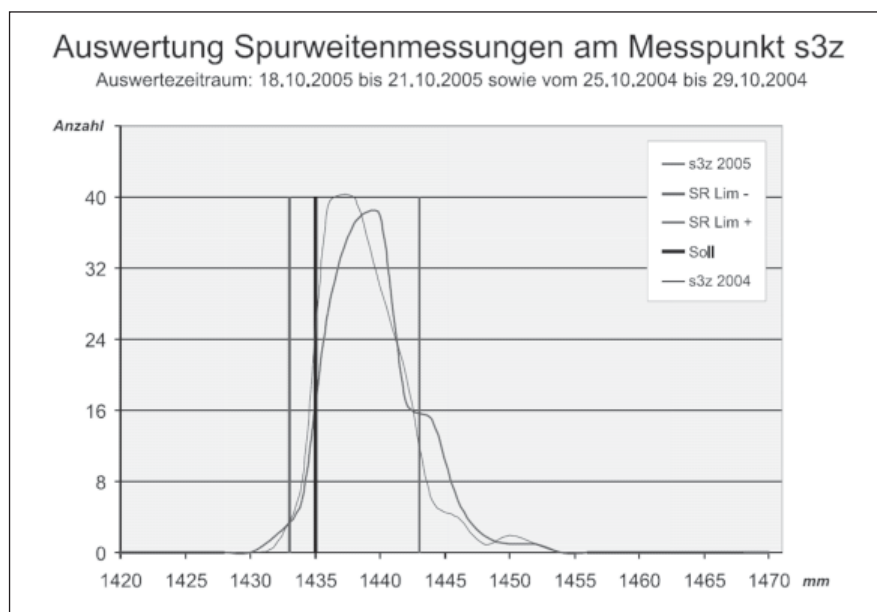


Bild 6: Die Häufigkeitsverteilung von 2 Jahresmessungen aller Weichen aus dem Jahr 2004 und 2005 am Messpunkt s3z (Spurweite im Zwischenschienenbereich Zweiggleis) mit Sollwert und SRLim Toleranz. Aus dem Vergleich beider Kurven lässt sich erkennen, dass eine Tendenz zur Spurerweiterung (1437 -> 1439 mm) bei der Gesamtheit aller Weichen besteht.

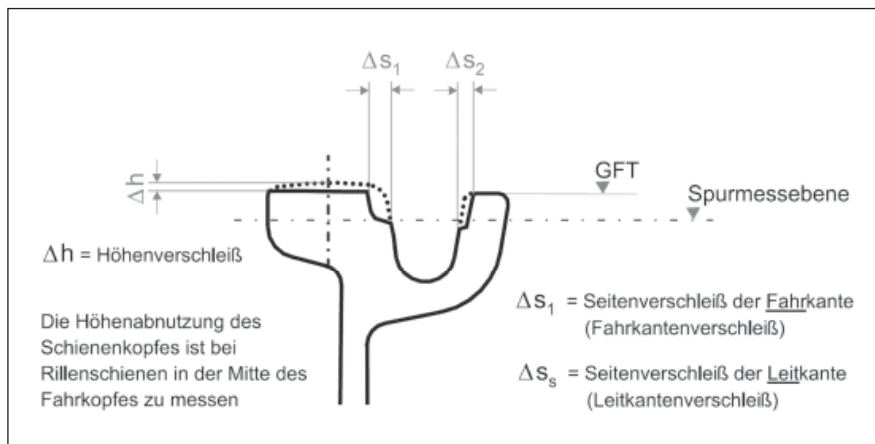


Bild 7: Verschleißzonen und ihre Bezeichnung bei Rillenschienen

jähriger Messperiodenvergleiche entstehen daraus leicht Datenvolumen von 10 Mbyte/km. Entscheidende Vorteile erzielt, wer mit geringem Bearbeitungsaufwand aus Daten bedarfsgerechte Informationen für das Instandhaltungsmanagement bereitstellt. Deshalb sollten Ergebnisse von Gleismessungen so aufbereitet werden, dass sie aussagefähig, übersichtlich und klar verständlich eine korrekte Einschätzung des Zustands unterstützen. Die Anforderungen an eine Dokumentation lauten:

- Transparenz stiftend, ohne Spezialkenntnisse oder weitere Hilfsmittel interpretierbar,
- detaillierte Einzelergebnisse und verdichtetes Gesamtergebnis,
- Rückverfolgbarkeit der Zustandsentwicklung der Anlage.

Neben den bewährten berührend messenden digitalen Geräten setzen sich allmählich auch berührungslos messende Systeme durch, die höhere Messgeschwindigkeiten erlauben. Leider lassen diese schnellen Messsysteme, mit denen großräumig Strecken abgefahren werden, keine korrespondierende Sichtprüfung sowie keine Stammdatenerfassung von Bauform und technischer Anlagenspezifikation zu. Die dazu ersatzweise angebotenen Videoaufnahmen können als indirekte Sichtprüfung eine direkte Beurteilung durch den Fachmann jedoch bei weitem nicht ersetzen. Automatische Bildauswertesysteme können zwar erkennen, ob z.B. Schienenbefestigungselemente vollständig sind, aber nicht, ob sie lose sind.

Neben großen Messfahrzeugen gibt es kleine Geräte, deren Mobilität einen wirtschaftlichen Einsatz schon auf kurzen Strecken sicherstellt. Mit diesen Geräten werden Gleislänge, Längshöhe, Überhöhung, Pfeilhöhe und die Spurweite berührend

gemessen und elektronisch gespeichert. Die Kompaktheit dieser Kleingeräte findet ihre Grenzen in der Sehnenlänge; für genaue Messungen ist eine Sehnenlänge von mindestens 2.500 mm erforderlich.

Geometriemessungen unter dynamischer Belastung (Verkehrslast) werden ebenfalls angeboten und verheißen einen zusätzlichen Erkenntnisgewinn im Hinblick auf eine Feststellung der tatsächlichen Wirkung der vollen Verkehrslast der Fahrzeuge auf den Oberbau. Genau diese Auswirkung lässt sich jedoch nicht messen, da eine Geometriemessung direkt am Lasteinleitungspunkt (unter dem rollenden Rad) technisch nicht möglich ist. So tritt beispielsweise die größte Spuraufweitung nur unmittelbar in dem Schwellenfeld auf, in dem sich das belastete Rad befindet. Um die Qualität der Messung nicht durch Fahrzeugschwingungen zu beeinträchtigen und Beschädigungen an den Sensoren zu vermeiden, sind diese möglichst weit außerhalb der Radaufstandszone angebracht. Damit ist der Lasteintrag am Messpunkt nicht eindeutig definiert.

Bei portablen, an Linienfahrzeugen angebrachten Messsystemen, ist die Allgemeingültigkeit der Messergebnisse eingeschränkt, da die eingesetzten Fahrzeugbauarten hinsichtlich ihrer Eigenschaften sehr unterschiedliche Auswirkungen auf die Gleislage haben können. So führt ein vom Fahrverhalten her ungünstiges Fahrzeug zu anderen Messergebnissen als ein gutmütiges Fahrzeug.

Grundsätzlich jedoch besteht das Problem, dass alle gültigen und den Sicherheits- und Zulassungsprüfungen zugrunde liegenden geometrischen Grenzwerte und Toleranzen auf einer unbelasteten Messung basieren. Es besteht somit ein Konflikt im Messsystem. Weiterhin ist die Reproduzierbarkeit einer belasteten Messung mittels

Handmessverfahren mit vertretbaren Mitteln nicht möglich – zumal sich die Ursache von Ergebnisdifferenzen nicht eindeutig bestimmen lässt. Eine unbelastete Messung ist reproduzierbar und gibt einen neutralen Gleiszustand wieder. Über die Anwendbarkeit der ballastierten Messmethode zur Gewinnung von instandhaltungsrelevanten Daten muss also noch weiter diskutiert werden.

Der Fachmann jedenfalls erkennt Veränderungen, die unter Last auftreten, im Rahmen der direkten Sichtprüfung anhand von Bewegungsspuren, z.B. Materialabrieb, hellen Rostpartikeln, Luftspaltbildung usw. sehr gut. Diese gehen als ergänzende Information, z.B. Spurweite 1450 mm +10 mm Aufweitung unter Last, in die Prüfergebnisse mit ein.

Im Endeffekt ist das Wissen, an welchen Stellen im Gleis unerwünschte Bewegung stattfindet, für die Instandhaltung wesentlich interessanter als ein relatives Messergebnis, denn lose Befestigungselemente spielen im Zerstörungsprozess des Oberbaus eine ganz erhebliche Rolle.

Berührungslose Messungen sind aus Sicht der Instandhaltungsplanung interessant, um Schienenquerprofile kontinuierlich aufzuzeichnen. Außer der Messung von Rillenweite und Rillentiefe der Schienenprofile bringt eine bloße Darstellung des Ist-Profiles ohne Vergleichsmöglichkeit mit dem Soll- oder Neuprofil allerdings keinen Erkenntnisgewinn und die Sichtung von mehreren Tausend Einzelbildern ist für den Auswertenden kaum beherrschbar.

Das kontinuierliche Einscannen der Schienenquerprofile mittels Lichtschnittverfahren eröffnet dem Anwender neben der reinen Ist-Aufnahme die Möglichkeit, aus Daten Informationen zu generieren. Dazu muss das Erfassungssystem allerdings so verfeinert sein, dass sowohl eine reproduzierbare Schienenprofilerkennung als auch ein Vergleich mit Neuprofilen möglich ist. Hier kommt es entscheidend darauf an, eindeutige, d.h. vom (normalen) Verschleißverhalten unbeeinflusste Kontursegmente der unterschiedlichen Schienenprofile für die zweifelsfreie Erkennung zu definieren. Im nächsten Schritt lässt sich aus dem Vergleich von Verschleiß- und Neuprofil der Verschleiß an Höhe und Seite(n) messen (Bild 7).

Bei dem Gleismesssystem EMAuni⁵⁾ wird die Schienenprofilkontur mit 4 Laserscannern in einer Datenrate von 2 Aufnahmen

5) EMAuni ist ein handliches, kontinuierlich messendes Gleisgeometriemessgerät der Vogel & Plötscher GmbH, das von Schreck-Mieves mit Schienenscannertechnik ergänzt wurde.

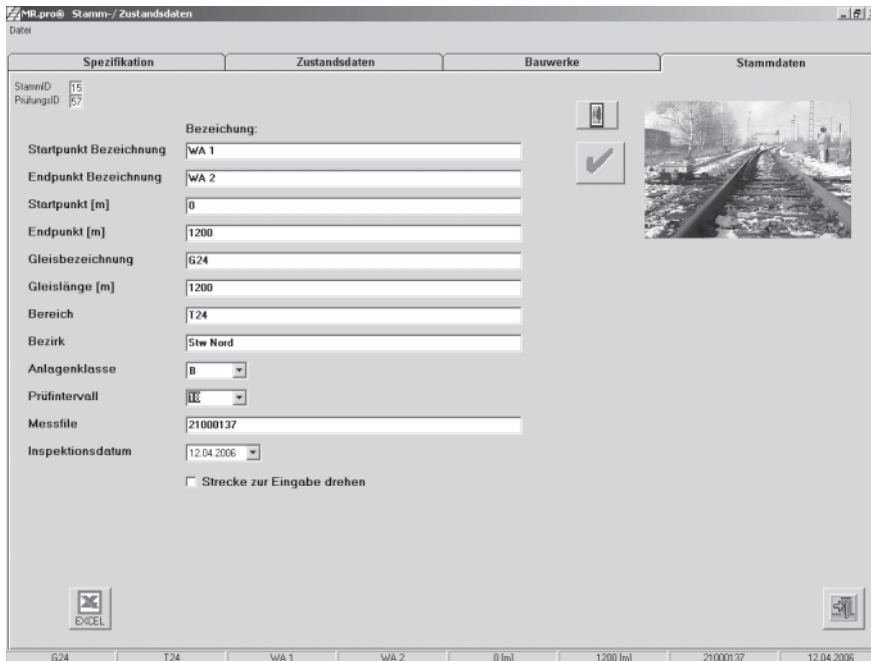


Bild 10: Neben allgemeinen Stammdaten lassen sich die Bauform (Spezifikation) und weitere Infrastrukturelemente wie enthaltene Bauwerke mit MR.pro®Gleis metergenaun komfortabel erfassen und verwalten

Die Wahl der Detaillierungstiefe hängt dabei maßgeblich von der Prüfmethode und der dabei verwendeten Messtechnik ab. Sie beeinflusst unmittelbar auch den Organisationsaufwand bei der Einteilung in Streckenabschnitte. Um überschaubare Größenordnungen zu erreichen, sollten Gleisabschnitte möglichst nicht länger als 1.500 m und nicht kürzer als 50 m sein.

Damit sich alle Elemente der Infrastruktur hinsichtlich ihrer Lage beschreiben und ausrichten lassen, bietet sich die

Gleisachse als eindeutiger Bezugspunkt auch für alle übrigen Objekte an. Dem Gleismeter lassen sich sämtliche baulichen Einrichtungen zuordnen wie Weichen, Kreuzungen, Masten, Haltestellen oder Überwege etc. Auf die genaue Benennung sämtlicher Anlagenobjekte, seien es nun Weichen-Nummern, Haltestellenbezeichnungen oder Mast-Nummern, sollte ebenfalls geachtet werden.

Speziell für die besonderen Belange der Stammdatenerfassung und Sichtprüfung

ausgedehnter Streckenobjekte wurde das Softwaremodul MR.pro®Gleis entwickelt (Bild 10).

Neben den Bauwerken und der Spezifikation der Anlagenobjekte werden sämtliche Mängel dem jeweiligen Gleismeter zugeordnet. Dabei stellt das gleichzeitige Auftreten unterschiedlicher Mängelkombinationen hohe Anforderungen an den Überblick des Prüfers. Zudem macht die größere Ausdehnung der Gleise deren Bewertung unübersichtlich. Die Erfassungs- und Auswertungsmaske ist deshalb so gestaltet, dass jede Art punktueller und linear ausgedehnter Mängel übersichtlich erfasst und ausgewertet werden kann. Zur Sicherstellung der vollständigen Angaben (Start- und Endpunkt) ausgedehnter Mängel ist beispielsweise eine Erinnerungsfunktion integriert, die den Prüfer auf offene Linienmängel hinweist (Bild 11).

Prinzipiell hat sich bei der Zustandserfassung und -beurteilung ein Mix aus Haupt- und Nebenprüfungen bewährt:

- Die Hauptprüfung liefert ein umfassendes Zustandsbild der Anlage, deren Ergebnisse in die Instandhaltungsplanung und -steuerung einfließen. Die Hauptprüfung der Gleisanlagen besteht aus einer kontinuierlichen Messung der Gleisgeometrie mit korrespondierender Sichtprüfung (Spurweite, Überhöhung, Bogenradius, Verwindung, Rillentiefe, Rillenweite, Gradienten, Messstrecke) und der Erfassung oder Verifizierung der Stammdaten.
- Nebenprüfungen sind visuelle Sicherheitsüberprüfungen, meist in Form von Begehungen durch den oder die Anlagenverantwortlichen.

Die Hauptprüfung dient der umfassenden Aufnahme von Zustandsdaten und im Wiederholungsfall dem Stammdatenabgleich. Die Nebenprüfung verfolgt den Zweck der unterjährigen Überprüfung der Sicherheit, das heißt, hier steht nicht die Informationsgewinnung für die Instandhaltungsplanung im Vordergrund, sondern die Störungssuche und deren schnellstmögliche und wirtschaftliche Beseitigung. Deshalb kann die Genauigkeit der Positionsangaben bei Nebenprüfungen eigentlich auf das schnelle Wiederfinden der betreffenden Stelle durch das Entstörungsteam sowie die buchhalterische Zuordnung von Störung, Entstörung und der entstandenen Kosten beschränkt werden.

Die Sichtprüfung im Zusammenhang mit der kontinuierlichen Gleisgeometriemes-

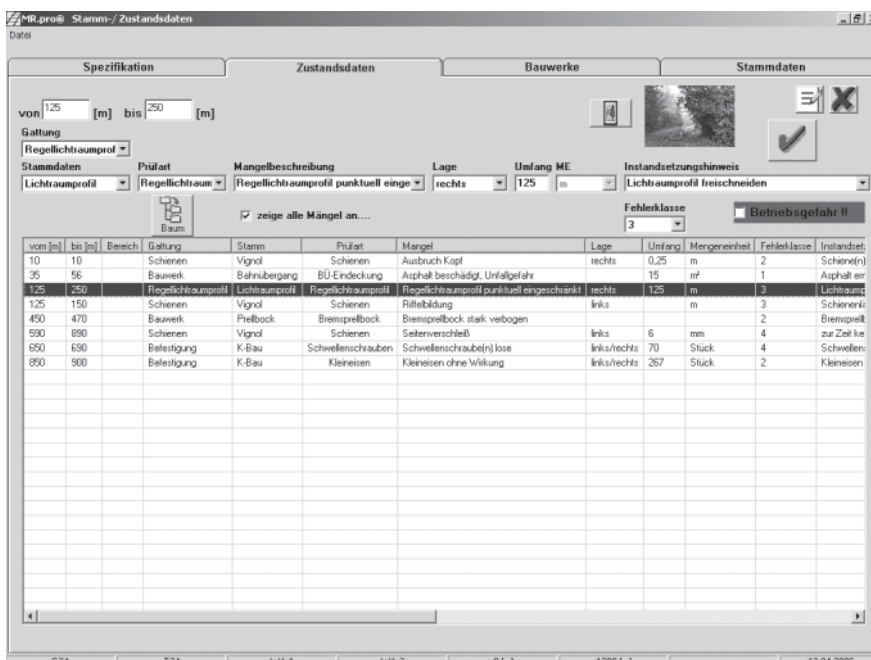


Bild 11: Die strukturierte Zustandserfassung von Gleis G24 mit MR.pro®Gleis erlaubt konkrete Mängelbeschreibungen von Lage, Beginn und Ende, Umfang, Fehlerklasse, Sicherheitsgefährdung und Instandsetzungshinweis

sung (Hauptprüfung) hat dabei den Vorteil, die genaue Stationierung des Messgeräts als Basisinformation zur exakten Zuordnung von Bauwerken, Spezifikationen und Mängeln verwenden zu können. Dies ist bei der Begehung nicht der Fall – deshalb benötigt der Inspekteur bei der von der Gleismessung unabhängigen Prüfung andere Orientierungs- und Stationierungshilfen. Das kann messtechnisch entweder mittels Messrad oder Global Positioning System (GPS) erfolgen. Beides hat Nachteile, wenn es die Überprüfung des Sicherheitszustands oder die Identifikation der Örtlichkeit behindert und verlangsamt. Innerstädtisch sind kleine tragbare GPS-Empfänger heutiger Technik nur bedingt einsetzbar, enge Häuserschluchten oder überragender Bewuchs führen zu einem Abbruch der Satellitenverbindung. In Tunnelanlagen gibt es ebenfalls Schwierigkeiten. Wartezeiten und schwankende Messgenauigkeit sind die Folgen. Dank des technischen Fortschritts werden diese Probleme in Zukunft zu lösen sein. Aber bis es soweit ist, sollte eine sicher funktionierende Methode zur Positionsbestimmung verwendet werden.

An dieser Stelle ist die Frage nach der hinreichenden Genauigkeit von Ortsangaben zu stellen (Pareto⁶). Diese orientiert sich zweckmäßigerweise an der bei allen Prozessbeteiligten verfügbaren niedrigsten Genauigkeit. Verwendet die Hauptprüfung hochgenaue Koordinaten, so kann ein Entstörteam, das nicht über GPS Technik verfügt, ohne zusätzliche Informationen mit diesen Angaben nichts anfangen. Bei der Identifikation der Örtlichkeit muss deshalb auf den kleinsten gemeinsamen Nenner geachtet werden.

Die Positionsermittlung bei der Sichtprüfung kann aber durch Verwendung einer GPS-Kamera, einer Digitalkamera mit GPS-Antenne, die georeferenzierte Fotos macht, aktiv unterstützt werden.

In der Praxis reicht häufig schon die Verwendung digitaler Gleis- und Netzlagepläne für die Lokalisierung der Anlagenobjekte bei Nebenprüfungen aus. Wenn diese Zeichnungen neben den Gleiselementen und deren Bezeichnung weitere bauliche Anlagen enthalten, wird die Orientierung zusätzlich erleichtert. Dazu zählen Brückenbauwerke, Haltestellen, Masten, Überführungen usw.

Ergänzende Informationen zum Straßennetz haben sich ebenfalls bei der Positionsbestimmung bewährt. Auch MR.pro[®]Gleis arbeitet mit digitalen Netzplänen (siehe Bild 2). Nach der Anwahl des Bezirks lässt sich die eigene Position schnell finden und der zu erfassende Sachverhalt dem Anlagenobjekt eindeutig zuzuordnen. Durch Abschätzen der Entfernung vom Start- oder Endpunkt bzw. zu eindeutig stationierten Bauwerken, ist in der Regel eine hinreichend genaue Eingrenzung der betreffenden Stelle möglich.

8. Zusammenfassung

Instandhaltung mit Zielen erfordert neben der eigentlichen Zustandsvereinbarung die regelmäßige Überwachung der Anlagenqualität. Dies leisten Inspektionen, die den aktuellen Sicherheits-, Verschleiß- und Qualitätszustand der Anlagenobjekte erfassen, beurteilen und bewerten. Darüber hinaus wird der konkrete Instandsetzungsbedarf

für die Planung und Steuerung der Instandhaltung abgeleitet und die Erreichung der zwischen Anlageneigentümer und Instandhalter vereinbarten Ziele dokumentiert. Damit nicht die Kosten der Diagnose, Interpretation und Datenhaltung den Aufwand und den tatsächlichen Nutzen der Zustandserfassung bei weitem übersteigen, ist eine im Vorfeld durchgeführte Kosten-Nutzen-Analyse unumgänglich. Hierbei ist zu klären, welche Daten in welcher Menge, Regelmäßigkeit und Präzision erforderlich und notwendig sind. Was nutzen massenhaft erhobene hochgenaue Messdaten, die nicht sinnvoll bearbeitet und ausgewertet werden können und zu keinerlei Erkenntnisgewinn beitragen? Intelligent ausgewertet stellen Zustandsinformationen die Basis für belastbare und reproduzierbare Instandhaltungsentscheidungen der Instandhaltung dar.

Man kann heute Vieles messen – aber eine Substitution von Fachkenntnis durch Messtechnik ist nicht möglich. Unter Anwendung moderner Klassifizierungsmethoden (Fehlerklassen) wird die direkte Sichtprüfung der Fachleute zu einer objektiven Zustandsbeurteilung aufgewertet. Darüber hinaus lässt sich der aktuelle Funktions- und Substanzwert einzelner Anlagenobjekte als Kennziffer Abnutzungsvorrat (KAV) quantifizieren und auf einen Anlagen-Gesamtwert verdichten.

Moderne, datenbankgestützte Zustandserfassungs- und -bewertungssysteme, wie MR.pro[®], unterstützen die Instandhaltung wirkungsvoll bei der Realisierung wirtschaftlicher und transparenter Lösungen.

MR.pro[®]Weiche stellt eine erprobte und praxisgerechte Softwarelösung für die Zustandserfassung und -beurteilung von Weichen dar. Damit werden digitale Weichenmessergebnisse ausgewertet, verdichtet und ansprechend dokumentiert. Über die messtechnischen Aufgaben hinaus umfasst der Leistungsumfang ein standardisiertes Sichtprüfungsmodul und eine automatisierte Dokumentation. MR.pro[®]Gleis unterstützt die visuelle Zustandserfassung und -beurteilung von Gleisen in gleicher Weise.

Auf digitalen Endgeräten eingesetzt, erzielt der Anwender eine neue Dimension

6) Die Pareto-Verteilung, benannt nach dem ital. Ökonom und Ing. Vilfredo Frederico Pareto, beschreibt, dass eine kleine Anzahl von hoch bewerteten Elementen in einer Menge sehr viel zum Gesamtwert der Menge beiträgt, wohingegen der überwiegende Teil der Elemente nur sehr wenig zum Gesamtwert beiträgt. Daraus leitet sich das Pareto-Prinzip, auch 80:20 Regel oder 80/20-Verteilung ab: 80 % des Erfolgs erreicht man mit 20 % der Mittel, bzw. 20 % der strategisch richtig eingesetzten Zeit bringt 80 % der Ergebnisse.

in Punkto Effizienz, Plausibilität und Vollständigkeit von Prüfungen. Vordefinierte und kodierte Mangelbeschreibungen, Instandsetzungsempfehlungen und Fehlerklassifizierungen machen die Sichtprüfung objektiv und nachvollziehbar – auch wenn ein unterschiedlicher Personenkreis mit dieser Aufgabe betraut ist.

Die verdichteten und bewerteten Inspektionsergebnisse fließen als Instandsetzungsbedarf unmittelbar in den weiteren Instandhaltungsprozess, die Planung, Budgetierung und Realisierung ein.

Aus den mit MR.pro[®] gewonnenen Inspektionsergebnissen lassen sich Instandsetzungsprioritäten direkt ableiten und Arbeitsaufträge generieren. Weitere Besichtigungen vor Ort sind bei Weicheninspektionen nicht notwendig, da ein Großteil der Arbeitsvorbereitung im Zuge der Inspektion direkt vor Ort erfolgt.

Die mit MR.pro[®] erstellte Anlagendokumentation überzeugt Anwender, Entscheider und Aufsichtsbehörden gleichermaßen. Sie sichert die Rückverfolgbarkeit des Anlagenzustands und bedeutet Handlungssicherheit und gute Nachvollziehbarkeit von Entscheidungen:

- zuverlässige, reproduzierbare Ergebnisse durch eindeutiges Prozedere,
- aussagefähig, übersichtlich und klar verständlich,
- Transparenz stiftend, ohne Spezialkenntnisse oder weitere Hilfsmittel interpretierbar,
- detaillierte Einzelergebnisse, verdichtetes Gesamtergebnis,
- Rückverfolgbarkeit der Zustandsentwicklung der Anlage.

Durch Schnittstellen zu datenbankbasierten Instandhaltungs-, Planungs- und Steuerungssystemen (IPS) sowie Geoinformationssystemen (GIS) stehen sowohl die erfassten und bewerteten Zustandsdaten als auch die Stammdaten für den gesamten Instandhaltungsprozess zur Verfügung – und zwar durchgängig, von der Erfassung bis zur Auswertung ohne einen Wechsel des Mediums.

Die Vorteile auf einen Blick:

- Reduzierung des Inspektionsaufwands und Minimierung von Betriebsbeeinträchtigungen,
- komfortable und schnelle Zustandserfassung und -beurteilung vor Ort,

- Reduzierung des Aufwands für die Auswertung der Inspektionsergebnisse,
- Objektivierung und Qualifizierung der Zustandsbewertung,
- Datenbereitstellung für dezentrale und zentrale Zugriffe sowie Langzeitanalysen,
- Kenndatenbildung für strategische Entscheidungen,
- standardisierte, EDV-gestützte Maßnahmvorschläge,
- Unterstützung der Entscheidungsprozesse und Bildung von Prioritäten,
- gesicherte Dokumentation der Betriebs- und Funktionsfähigkeit der Anlage.

(Fortsetzung folgt)

LITERATUR:

- [1] Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) Schrift 170 10/00: Instandhaltung von Schienenfahrzeugen nach B0Strab.
 - [2] Kühlwetter, H.-J.: Der Betriebsleiter. Eisenbahningenieur 11/99, S. 80–83; § 4 EBV und Kommentierung durch Kühlwetter bei Kunz, Eisenbahnrecht, Abt. A 4.3, S. 27–35.
 - [3] Ostermann, N./Ossberger, M.: Strategieelemente der urbanen Fahrweginstandhaltung. ZEV Glasers Annalen 129 (2005) S. 496–505.
 - [4] Rainer, M./Marx, A.: Laserbasierte Schienenprofilerkennung und Verschleißquantifizierung, nicht veröffentlicht.
-