

Infrastruktur-Daten-Management für Verkehrsunternehmen

IDM^{VU}

Forschungsvorhaben Stufe 3 (FE 70.0814/2007)

Innovatives Instandhaltungsmanagement mit IDMVU

Teil 2

Detaillierte Beschreibung und Beispiele

Version 1.0

31.08.2009

für das

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
Invalidenstraße 44, 10115 Berlin



der Firmen

momatec GmbH
Diepenbenden 44, 52076 Aachen



interactive instruments GmbH
Trierer Str. 70 – 72, 53115 Bonn



Schreck-Mieves GmbH
In den Kreuzfeldern 2, 54340 Longuich
(Trier)



GüteZert[®] GmbH
Abraham-Lincoln-Str. 30, 65189 Wiesbaden



Autoren

Dr. Andreas Kochs, momatec GmbH

Andreas Marx, Schreck-Mieves GmbH

Historie des Dokuments

Versionsübersicht

Nr.	Datum	Version	Änderungsgrund	Bearbeiter
1	01.06.2008	0.1	Erstellung	Kochs, Marx
2	20.01.2009	0.2	Überarbeitung nach Feed-back BEK	Marx
3	04.05.2009	0.3	Neugliederung und Schwerpunktbildung	Kochs, Marx
4		0.4	Zwischenstand	
5	30.08.2009	0.5	Implementierung UML	Marx
6	31.08.2009	1.0	Qualitätssicherung	Kochs

Änderungsübersicht

Nr.	Version	Geändertes Kapitel	Beschreibung der Änderung
1	0.1	Alle	Erstellung
2	0.2	Alle	Grundsätzliche Überarbeitung
3	0.3	Alle	Grundsätzliche Überarbeitung 2 und Differenzierung in Teil 1 und 2
4	0.4	Alle	Zwischenstand
5	0.5	Alle	Implementierung UML
6	1.0	Alle	Qualitätssicherung

Inhaltsverzeichnis - Teil 2¹

1	EINLEITUNG	1
2	ALLGEMEINE EINFÜHRUNG IN DAS INSTANDHALTUNGSMANAGEMENT	2
2.1	Zustandsabhängige Instandhaltung (inspektives Modell).....	5
2.2	Planung und Steuerung der zustandsabhängigen Instandhaltung	6
2.3	Allgemeine Voraussetzungen für Instandhaltungsmanagement	7
2.3.1	Datengrundlage schaffen.....	7
2.3.2	Klassifizierungs- und Kategorisierungsstrategie	8
2.3.3	Anlagenbestand erfassen	8
3	EINSATZ VON IDMVU IM INSTANDHALTUNGSMANAGEMENT	11
3.1	Das IDMVU-Zustandsdatenmodell.....	12
3.2	Beispiel: Zustandsdaten Gleise	16
3.2.1	Bezug zum Netz.....	18
3.2.2	Zustand	18
3.2.3	Zustandswert	19
3.2.4	Parameter	19
3.2.5	Kategorie.....	20
3.2.6	Mangelmeldung	20
3.3	Beispiel Zustandsdaten Weichen	21
3.3.1	Zustand	21
3.3.2	Parameter	21
3.3.3	Kategorie.....	22
3.3.4	Mangelmeldung	22
4	PROZESSE DES INSTANDHALTUNGSMANAGEMENTS	27
4.1	Anlagendifferenzierung durch Belastungsklassen (Anlagenklassen).....	27
4.2	Durchführung der Zustandserfassung (Haupt- und Nebenprüfung)	31
4.3	Durchführung der messtechnischen Zustandserfassung	32
4.3.1	Weichen.....	32
4.3.2	Gleise.....	34

¹ Teil 1 des Leitfadens „Innovatives Instandhaltungsmanagement mit IDMVU“ enthält einen Überblick des Gesamtprozesses.

4.4	Messwertverdichtung durchführen	38
4.5	Durchführung der Messwert- und Mangelklassifikation (Fehlerklassen	40
4.6	Zusammenführen der Ergebnisse der Hauptprüfung – bestehend aus Messungen und visuellen Zustandsprüfungen	46
4.7	Sofortmaßnahmen einleiten	53
4.8	Kurz-, mittel- und langfristige Maßnahmen planen	54
4.8.1	Kurzfristplanung	55
4.8.2	Mittel- und Langfristplanung.....	57
4.9	Maßnahmen durchführen	58
4.10	Maßnahmenqualität bewerten	59
5	GLOSSAR	62
6	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	66

1 Einleitung

Ziel dieses Leitfadens ist es, Orientierung für die Konzeption, Umsetzung und Anwendung eines innovativen und wirtschaftlichen Instandhaltungsmanagements zu geben.

Am Beispiel der Schieneninfrastruktur (Gleise und Weichen) wird dazu die Planung und Steuerung der Instandhaltung unter Zugrundelegung des IDMVU-Datenmodells aufgezeigt.

Teil 1 gibt einen Überblick über die Umsetzung der einzelnen Prozessschritte des Instandhaltungsmanagements und der Anwendung des IDMVU-Datenmodells, speziell des Zustandsdatenmodells.

Teil 2 enthält detailliertere Beschreibungen und Beispiele für einsetzbare Methoden des Instandhaltungsmanagement.

Diese grundlegende Methodik lässt sich ohne weiteres auf andere Objektarten der Infrastruktur wie Leit- und Sicherungstechnik, Bauwerke, Fahrleitung, Bahnstromversorgung usw. übertragen, da es sich hierbei ebenfalls um Punktobjekte und Linienelemente handelt. Das IDM-Zustandsdatenmodell erlaubt es, die Zustandsdaten entweder auf einen Gleis-/Streckenabschnitt oder auf ein beliebiges IDM-Objekt zu beziehen, so dass das generelle Konzept auf alle Infrastrukturobjekte übertragen werden kann.

Dieser Teil 2 des Leitfadens Innovatives Instandhaltungsmanagement mit IDMVU ist wie folgt aufgebaut:

- Einleitung
- Allgemeine Einführung in das Instandhaltungsmanagement
- Vorstellung des Zustandsdatenmodells von IDMVU
 - Beispiel Gleis
 - Beispiel Weiche
- Detailinformationen zum Instandhaltungsmanagementprozess mit ergänzenden Hinweisen zu den Teil 1 des Leitfadens beschriebenen Prozessschritten

2 Allgemeine Einführung in das Instandhaltungsmanagement

Die Instandhaltung der Verkehrsanlagen verursacht mit ca. 65 % der Lebenszykluskosten (LCC) hohe wirtschaftliche Aufwendungen. Daraus resultiert, dass einerseits effiziente technische Mittel und langfristige Ausrichtungen für die Instandhaltung gefordert sind, und andererseits bereits durch die Planung und technische Wahl einer Anlage der Instandhaltungsaufwand mit geprägt wird.

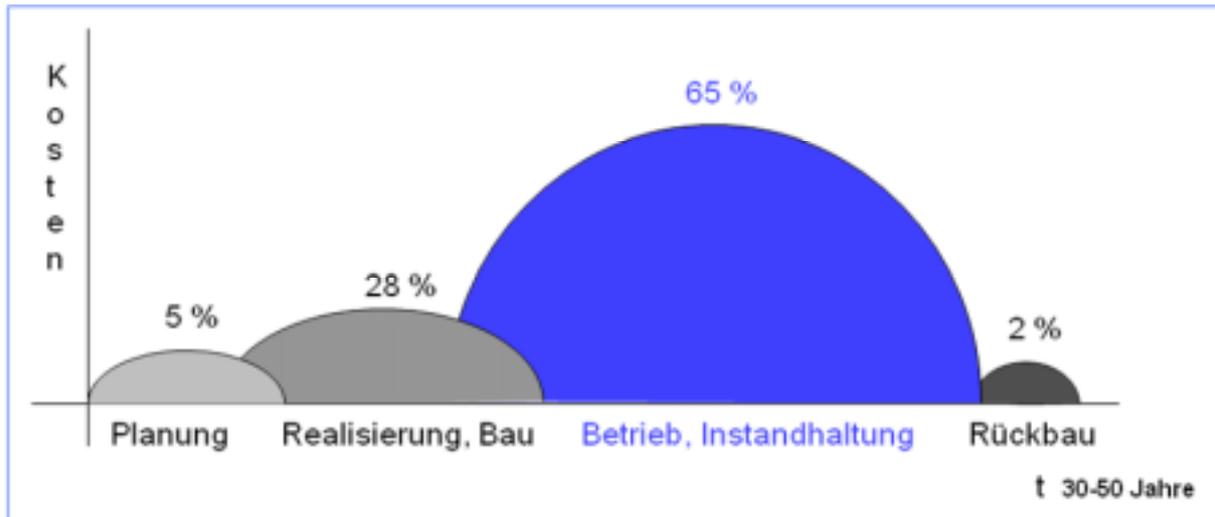


Abbildung 1: Kostenanteile im Life-Cycle der Infrastruktur

Es gilt und ist unverzichtbarer Maßstab, die Verkehrsanlagen anforderungsgerecht vorzuhalten. Die größte Herausforderung für Infrastrukturbetreiber ist es, die Leistungsfähigkeit der Anlagen trotz kleinstem Budget anforderungsgerecht zu erhalten. Denn geschieht dies nicht, erhöhen sich die Folgekosten in kritischen Fällen sogar exponentiell, auf der anderen Seite können sich Sicherheitsrisiken ergeben. Bei einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von Infrastrukturobjekten zwischen 30 und 50 Jahre (siehe Abbildung 1) stellt die exakte Messung und Bewertung der Lebenszykluskosten eine Herausforderung dar. Wichtig erscheint es, in diesem Zusammenhang schon bei der Wahl der Bauart und der Beschaffung die Folgekosten über die Zeit – als eine möglichst genaue Bestimmung der LCC grundsätzlich zu betrachten.

Die besonderen Anforderungen der Netzinstandhaltung beeinflussen die Qualität und den Umfang des Datenmanagement:

- Mix aus räumlich ausgedehnten Linienelementen und Punktobjekten
- heterogene und wechselnde Bauformen innerhalb der Objekte
- Teilstrecken mit komplexen Eigenschaften
- Vielfältige wechselseitige Einflüsse: Rad-Schiene, Pantograph-Fahrleitung, Streuströme, Individualverkehr etc.

- Verfolgung von Gewährleistungsansprüchen gegen Teile und/oder Abschnitte von Infrastrukturobjekten für Material und Leistung
- Lange Nutzungsdauer von im Schnitt 30-50 Jahren
- Lange Wirkungszeit aufgrund Unumkehrbarkeit von Entscheidungen
- Unsicherheit aufgrund wechselnder Nutzungsarten und -intensitäten
- Dominanz der Nutzungskosten, in der Regel ein Vielfaches der Anschaffungskosten
- Gesetzliche Auflagen zum Nachweis der Betriebssicherheit.

Instandhaltungsmanagement definiert sich als die Gesamtheit aller Maßnahmen zur Gestaltung, Lenkung und Entwicklung der Instandhaltung².

Ein effizientes und zielorientiertes Instandhaltungsmanagement macht es erforderlich, strukturierte Geschäftsprozesse zu verwirklichen und aktuelle bedarfsorientierte Datengrundlagen (Bestandsdaten und Zustandsdaten) einzusetzen. Unterlassene Instandhaltung zeigt sicherheitstechnisch zunächst kaum Folgen – eine Häufung von Ausfällen tritt zeitverzögert auf. Aber wie alle über lange Zeiträume genutzte Anlagen verzeiht auch eine Gleisanlage Instandhaltungsunterlassungen nicht: Die Lebensdauer der Anlage wird rapide verkürzt – die Lebenszykluskosten steigen überproportional. Fehlen Daten über die Zustandsentwicklung, bleibt dieser kausale Zusammenhang verborgen. Verbesserungen beim EDV-Einsatz, der Fahrwegdiagnose und der Inspektionsmethoden eröffnen neue Wege in der Instandhaltung. Der dazu notwendige Aufwand für die Installation und Anwendung der Software sowie der Datenerfassung und -verwaltung hat sich durch innovative Systeme wesentlich reduziert.

Das Ziel der Instandhaltung ist es, Fahrzeuge (und Anlagen) in einem vereinbarten Zustand, mit einer vereinbarten Verfügbarkeit und bei geringst möglichem wirtschaftlichem Aufwand zur Verfügung zu stellen³.

Abbildung 2 Ziel der Instandhaltung (gem. VDV Schrift 170 10/00: Instandhaltung von Schienenfahrzeu- gen analog für die Infrastruktur anzuwenden.

² Alcalde Rasch, A.: Erfolgspotential Instandhaltung. Erich Schmidt Verlag 2000.

³ Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) Schrift 170 10/00: Instandhaltung von Schienenfahrzeugen nach BOStrab.

Zielorientierte Instandhaltung⁴ dient der Klarheit und Sicherstellung zielgerichteter Aktivitäten – im Sinne der Anlagenstrategie des Eigentümers und der rechtlichen Sicherheit der Anlagenverantwortlichen. Die sichere und ordnungsgemäße Betriebsführung ist oberste Verpflichtung von Verkehrsunternehmen, der sich alle Vereinbarungen unterordnen müssen.

Vereinbarter Zustand und Verfügbarkeit bedeuten, dass Qualität und Zuverlässigkeit der Anlagen zwischen Nutzer und Instandhalter abgestimmt und festgelegt werden – wobei die Zielvereinbarungen immer oberhalb der Sicherheitsgrenze liegen müssen. Diese Zieldefinition kann in Form eines funktionalen Lastenheftes oder individueller Instandhaltungsrichtlinien, die für Rad und Schiene gelten sollten, erfolgen. Die Vereinbarungen betreffen in der Regel die Grenzen der Verkehrs- und Betriebssicherheit, die Qualitätsgrenzen von Rad und Schiene und deren Bewertungsgrundsätze sowie Termine bzw. Fristen zur Reinigung, Pflege, Wartung und Mängelbeseitigung.

Um das Ziel der Instandhaltung erreichen zu können, sind konkrete Zustandsvereinbarungen und deren Überwachung notwendig.

Nach deutschem Recht ist der Betriebsleiter (BOStrab, EBO, BOA) für die Sicherheit der Anlagen verantwortlich. Ihm obliegt es, adäquate Führungsmittel einzusetzen, mit denen die Anlagensicherheit gewährleistet und nachgewiesen werden kann.

Innovatives Instandhaltungsmanagement mit IDMVU bringt den Prozessbeteiligten folgenden Nutzen:

- Qualifizierung von Entscheidungen und Planung,
- Verminderung von Handlungsfehlern/ -mängeln,
- Transparenz des gesamten Instandhaltungsgeschehens,
- Erfüllung der Anforderungen des Qualitätsmanagements,
- prozessgerechte Planung und Abrechnung,
- Vermeidung und Abwehr von Haftungsrisiken.

Ein modernes Instandhaltungsmanagement sieht je nach unternehmensbezogener Zielsetzung und Anforderung eine Kombination unterschiedlicher Instandhaltungsstrategien vor:

- vorbeugende Instandhaltung, planmäßig nach festgelegten Fristen, z. B. durch Jahresrevisionen an Weichen und -antrieben, Pflege- und Reinigungsmaßnahmen
- zustandsbedingte Instandhaltung, unter Berücksichtigung des Anlagenzustands, z. B. bei der Bestimmung des Instandsetzungsbedarfs
- korrektive Instandhaltung, durch Erneuerung nach Eintreten des Ausfalls, z. B. bei Leuchtmitteln

⁴ Marx, A.: „Zielorientierte Instandhaltung Fahrweg Schiene (Maintenance by Objectives)“, Erich Schmitt Verlag, Verkehr+Technik, Ausgaben Mai-Juli 2006

Minimierung der Lebenszykluskosten

In den Jahren 2003 - 2007 wurden mehrere Infra-Cost Studien⁵ zur Infrastrukturinstandhaltung im In- und Ausland durchgeführt. Alle kommen im Kern zu gleichen Erkenntnissen, wonach eine nachhaltige Minimierung der Lebenszykluskosten (life cycle costs) erreicht wird durch:

- Hohe und gleichmäßige Anfangsqualität,
- Rechtzeitiger Ersatz alter und kostenintensiver Anlagen,
- Bedarfsorientierte, effiziente Instandhaltung zur Verlängerung der Lebensdauer,
- Einsatz instandhaltungsarmer und instandhaltungsfreundlicher Anlagenobjekte, entsprechend den betrieblichen Erfordernissen optimiert, und
- Standardisierung.

2.1 Zustandsabhängige Instandhaltung (inspektives Modell)

Zur Wahrung ihrer gesetzlichen Sorgfaltspflicht (gemäß BOStrab, EBO und BOA) müssen Verkehrsunternehmen den Zustand ihrer Anlagen regelmäßig überprüfen. Diese Zustandsüberprüfung kann neben dem Nachweis der Betriebssicherheit auch zur Ermittlung des Instandhaltungsbedarfs genutzt werden. Im Folgenden wird immer dann von Inspektion gesprochen, wenn beide Zwecke verfolgt werden.

Inspektionen bestehen aus 2 Teilen:

- a) Visuelle Prüfung
- b) Messungen

Digitale Messgeräte zur Überprüfung von Gleisen und Weichen stellen den Stand der Technik dar. Gleise werden kontinuierlich, die Weichen diskontinuierlich gemessen. Da der inspektive Ansatz eine ganzheitliche Betrachtung aus Zustandsbewertung und Messung erfordert, werden diese als Einheit, mit weitgehender Objektivierung der Schäden durch definierte Fehlerklassen sowie die Anwendung von mehrstufigen Toleranzgrenzen (SR_{100} , SR_{lim}) realisiert. Dies wird durch elektronische Datenerfassung vor Ort unterstützt. Die Generierung von Maßnahmenvorschlägen wird einerseits auf Basis eines definierten Maßnahmenkatalogs unmittelbar aus den Inspektionsergebnissen heraus, andererseits gekoppelt mit langjähriger Erfahrung bei der Bestimmung des optimalen Ersatzzeitpunkts initiiert.

Im Kreislauf zustandsabhängiger Instandhaltung sind folgende wiederkehrenden Aufgaben zu leisten, wobei die Erfassung des Anlagenbestands nur einmalig erfolgen muss, und dann, wenn Änderungen von Umfang und Konfiguration der Anlagen unterjährig erfolgen:

⁵ Zum Beispiel: „Die Kosten des Fahrwegs im internationalen Vergleich – Forschungsprojekt UIC“, „MaintenanceCost – die Kosten des Unterhalts der SBB – Teil A (2004)“

1. Daten akquirieren
 - a. Anlagenbestand erfassen (einmalig)
 - b. Zustand erfassen und bewerten
 - c. Instandhaltungsbedarf feststellen
2. Instandhaltung planen
3. Instandhaltung durchführen und steuern
4. Instandhaltung überwachen, Qualität sichern
5. Daten fortschreiben und dokumentieren

2.2 Planung und Steuerung der zustandsabhängigen Instandhaltung

Für die Planung der Instandhaltung ist ein verlässliches Bild des Anlagenzustands und der Verschleißentwicklung von großem Vorteil. Da Anlagen nur bis zu einem gewissen Grad wirtschaftlich instandgesetzt werden können, bedarf es zur Bestimmung des optimalen Erneuerungszeitpunkts auch der Kenntnis der Bauform und Spezifikation der Objekte sowie deren Betriebsbelastung.

Die Instandhaltungsarbeiten sind größtenteils handwerklich dominierte Leistungen. Die Zeiten, in denen Instandhaltungsarbeiten durchgeführt werden können, sind wesentlich vom Fahrbetrieb bestimmt, wobei das Thema Arbeitsschutz bei Arbeiten im Gleis eine dominante Rolle spielt. Aus diesem Grund ist eine möglichst kurze Zeitspanne im Gefahrenbereich Gleis/Straße anzustreben und einzuplanen. Instandhaltungsarbeiten werden dazu örtlich und zeitlich zusammengefasst – größere Maßnahmen in Mehrjahresplänen vorausschauend geplant.

Aus diesen Gründen ist die Planung der Instandhaltung eine komplexe Aufgabe, die eine Vielzahl unterschiedlicher Aspekte zu berücksichtigen hat. Grundlage dazu bieten technische Systeme, die den Anlagenzustand mit geringem Aufwand erfassen, überwachen und sichere Prognosen für die Verschleißentwicklung unterstützen können. Unterstützung der Planung bieten digitale Systeme vor allem den Betreibern, die umfangreichere Anlagen instand zu halten haben durch Bereitstellung von Betriebs-, Bestands-, Zustands- und Historiendaten.

Ab wann sich digitale Systeme in der Kosten-Nutzen-Betrachtung rentieren, ist dabei von Art und Umfang der Anlagen sowie dem Informations- und Dokumentationsbedürfnis von Eigentümer und Betreiber abhängig. Ab einem Umfang von 20-30 Weicheneinheiten sind die Grenzen statischer Lösungen wie beispielsweise Tabellenkalkulationen in der Regel erreicht. Datenbankbasierte Systeme bieten hier deutliche Vorteile bei der Parallelbearbeitung, Verwaltung, Pflege und Auswertung von Daten. IDMVU bildet von der Erfassung, Verwaltung und Pflege der Daten bis hin zur zielgerichteten und anwenderorientierten Bereitstellung von Informationen sämtlicher Infrastrukturdaten von Netzen, die datentechnisch sinnvolle Basis, um diese Aufgaben dauerhaft, sicher und in der notwendigen Arbeitsteilung leisten zu können.

nen.

2.3 Allgemeine Voraussetzungen für Instandhaltungsmanagement

2.3.1 Datengrundlage schaffen

Steigende Ansprüche an die Transparenz und Nachvollziehbarkeit von Instandhaltungsplanung und -steuerung erhöhen den Informationsbedarf des Instandhaltungsmanagements. Damit die zur Verfügung stehenden Datenmengen mit geringem Aufwand zu bedarfsgerechten Informationen für das Instandhaltungsmanagement werden, empfiehlt es sich, diese auf das wesentliche zu konzentrieren und in eine transportable strukturierte Form zu bringen, die die An- oder Einbindung von Planungs- und Steuerungssystemen sowie Informationssystemen ermöglicht. Dazu sollten Klassifizierungs- und Verdichtungsverfahren und das Datenmodell des IDMVU mit dem Schnittstellenstandard VDV 456 die Grundlage bilden.

Zur Schaffung einer verlässlichen Datenlage sind durchgängige und aktuelle Bestandsinformationen der Netzinfrastruktur eine Grundvoraussetzung. Dies ist aufgrund der heterogenen und wechselnden Bauformen innerhalb des Gleisnetzes eine wichtige und notwendige Aufgabe. Nimmt die Bestandsaufnahme (Inventur) des Netzes einen längeren Zeitraum in Anspruch, ist die Aktualität der zuerst erfassten Objekte mitunter schon in Frage zu stellen. Eine konzentrierte Komplettaufnahme des Gesamtnetzes oder von Teilnetzen ist deshalb empfehlenswert – wobei auch die sukzessive Erfassung von Teilnetzen und/oder der Netzausrüstung sinnvoll ist. Die Datenbasis „Gleis“ sollte erfassungstechnisch jedoch immer den Anfang bilden.

Detaillierungsgrad und Struktur der Daten sollten sich am IDMVU-Standard und den Anforderungen der Beteiligten anpassen, da der mit jedem Datenfeld einhergehende Pflegeaufwand beträchtlich sein kann.

Informationsbedarf in den Prozessphasen der Instandhaltung

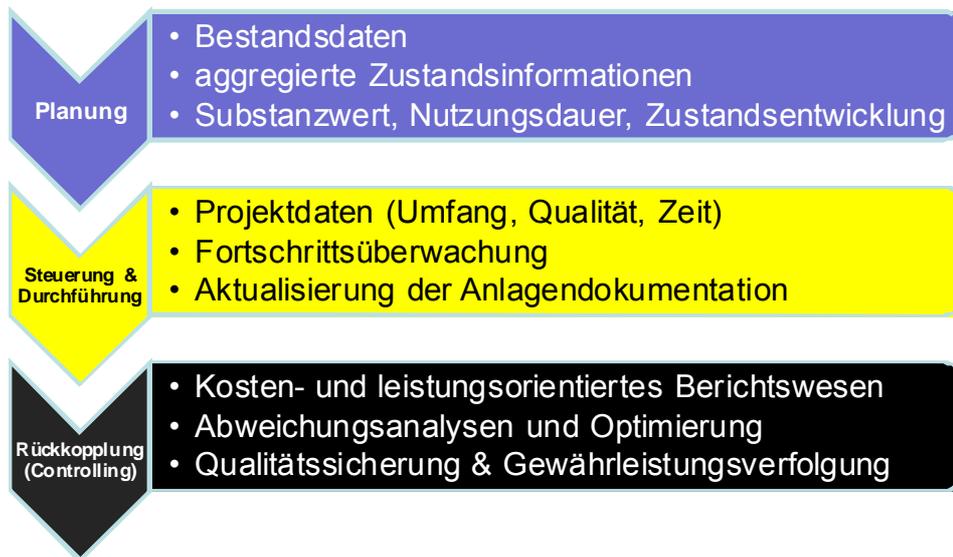


Abbildung 3: Informations- und Dokumentationsbedarf in der Instandhaltung

2.3.2 Klassifizierungs- und Kategorisierungsstrategie

Die Wahl eindeutiger Begriffe ist im gesamten Instandhaltungsprozess von Bedeutung. Die Standardisierung von Informationen in Form kodierter Zustandsbeschreibung (Mangelcode) und der Instandsetzung (Instandsetzungscode) ist für das Verständnis aller Prozessbeteiligten äußerst hilfreich - bei der Verwendung von IT-Systemen sogar unumgänglich.

Klassifizierung ermöglicht:

- Konzentration auf das Wesentliche,
- Standardisierung und Objektivierung der Prüfungen,
- Eindeutige Zielvereinbarung zur Anlagenqualität,
- Klare Vereinbarung der Abhängigkeit Befund-Maßnahmen-Fristen,
- Eindeutige Detektion und Beschreibung von Mängeln,
- Wirkungsvolle Zielkontrolle,
- Statistische Bewertung.

2.3.3 Anlagenbestand erfassen

Zur **Inventarisierung** des Gleisnetzes ist eine Orientierung am Knoten-Kantenmodell des IDMVU eine wesentliche Grundlage. Die Datenstrukturen des IDMVU und die VDV Schrift 456 enthalten eine umfassende Beschreibung des Netzmodells sowie seiner Strukturierung und bietet dadurch eine wichtige Basis bei der realitätskonformen Abbildung ganzer Gleisinf-

rastrukturen. Zudem sind zwei Detaillierungsstufen vorgesehen, die einen Start zunächst ohne Geometrie, aber mit Lageinformationen (Gleiskennung, Km, Stationierung) ermöglichen – die später ergänzt werden können. Die Bestandsdatenerfassung kann auf unterschiedliche Art und Weise erfolgen, z. B. durch Vermessung, Videobefahrung oder Begehung.

Bei der Bestandserfassung von Gleisen findet in der Regel eine lineare Referenzierung statt. Dabei wird die relative Position über Kilometrierungsangaben entlang der Gleisstrecke als m oder km-Wert ermittelt. Fehlen Stationierungsinformationen wie eine Gleiskilometrierung, werden Gleisabschnitte mit Hilfe von Festpunkten im Gleis segmentiert. Als Festpunkte dienen in der Regel ortsunveränderliche Objekte – gut geeignet sind Weichen und Kreuzungen. Die Gleisabschnitte beginnen und enden dabei an fest definierten Punkten, z. B. dem Weichenanfang.

IDMVU sieht auch eine dynamische Segmentierung für die sich im Zeitablauf verändernden Bauformen im Gleis vor. Die dynamische Segmentierung kann wirksam jede Art von Linienelementen modellieren, auch solche mit komplexen Eigenschaften, da sie die mehrfache Attributierung einer beliebigen Teilstrecke eines Linienelements erlaubt. Diese Attribute können gespeichert, dargestellt, abgefragt und analysiert werden, ohne die xy-Koordinaten der dazugehörigen Linienelemente zu beeinflussen.

Beispiel Gleis:

km 0,0 bis 1,5 Schienenprofil 49E1

km 0,0 bis 2,0 Hartholzschwellen 16x26 cm

km 1,5 bis 2,0 Schienenprofil 60E2

Durch die dynamische Segmentierung können Ereignisse, z. B. Bauformen, Alter, Zustandsinformationen bestimmten Positionen entlang eines Linienelements zugeordnet werden – oder auch die Erfassung und Zuordnung von Mängeln, um diese korrekt in Lage und Ausdehnung beschreiben zu können.

Beispiel visuelle Gleisinspektion:

km 0,0 bis 1,5 Schienenquerprofil - Gratbildung linke Schiene

km 0,0 bis 1,0 Holzschwellen biologischer Zerfall

km 1,0 bis 2,0 Schienenlängsprofil – Riffelbildung linke und rechte Schiene

Die Zustandsdatenerfassung erfolgt in der Regel im Rahmen von Streckenbegehungen, Messungen oder Befahrungen. Die Kombination aus Bestands- und Zustandsdatenerfassung, einer sog. „Inventur-Inspektion“ hat sich als effizient erwiesen, wenn Bestandsdaten überwiegend nicht vorhanden oder nicht aktuell sind. So können innerhalb kürzester Zeit alle erforderlichen Bestands- und Zustandsinformationen aktuell erfasst und zeitnah zur Verfügung gestellt werden. Dabei werden Gleisanlagen im Rahmen einer kontinuierlichen Messung und Sichtprüfung linear referenziert und segmentiert. Parallel zur Messung von Geometrie, Länge, Koordinaten und Schienenprofilen findet eine visuelle Erfassung von Bauart,

Konfiguration, Alter, Hersteller, etc. statt. Gleichzeitig wird der qualitative Zustand erfasst und einer fachlichen Bewertung im Hinblick auf den Instandhaltungsbedarf (Umfang, Priorität, Reihenfolge) unterzogen. Alle diese Informationen fließen dann direkt oder indirekt in das IDMVU-bezogene IT-System ein. Das IDMVU-Zustandsdatenmodell bietet sowohl die dazu erforderliche Datenstruktur als auch ein normiertes Schnittstellenformat für den Datentransfer.

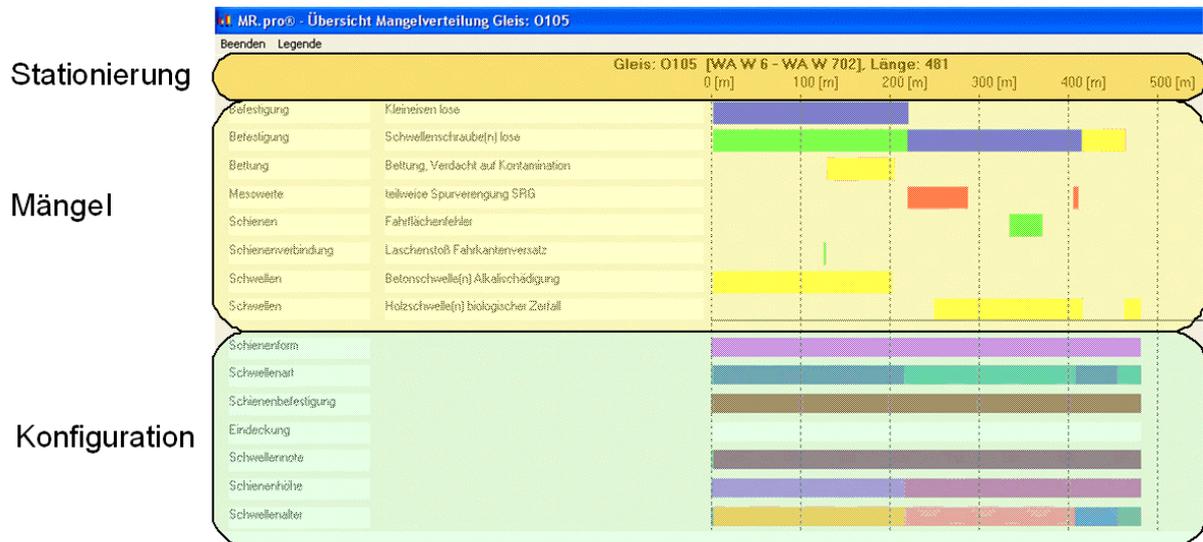


Abbildung 4: Zusammenhänge zwischen Stationierung, Mängel und Konfiguration eines Gleis-Strecken-Teils grafisch dargestellt. Die Mängel sind entsprechend ihrer Fehlerklassifizierung (FK) in Ampelfarben (rot = FK1, gelb = FK2, grün = FK3, blau = FK4) farbcodiert. Die Konfiguration zeigt Gleisabschnitte mit gleichen Attributen auf, die farbgleich dargestellt sind. Im Beispiel sind Schienenform, Schwellenbefestigung und Eindeckung im gesamten Gleis (0-480m) einheitlich.

3 Einsatz von IDMVU im Instandhaltungsmanagement

Im Bereich der Schieneninfrastruktur haben Geschäftsprozesse eine besonders hohe Datenrelevanz. Bei der Planung, dem Bau und insbesondere beim Betrieb der Infrastruktur wirkt eine Vielzahl an Beteiligten mit, die ständig auf zuverlässige, aktuelle Daten angewiesen sind. Dies erfordert ein qualifiziertes Datenmanagement, klare Datenstrukturen und definierte Standards für den Datenaustausch sowie ein klares Zeitmanagement auch auf Daten- und Prozessebene zwischen den Beteiligten⁶.

Wurde einer strukturierten Datenspeicherung in der Vergangenheit keine hohe Bedeutung beigemessen, legen Mitarbeiter die Daten nach eigenen Bedürfnissen an und ab. Diese Informationen liegen heute zumeist verstreut und redundant vor, widersprechen sich oftmals oder sind überholt. Zusätzlich geht nicht dokumentiertes Fachwissen mit dem Weggang von Mitarbeitern verloren. Nach modernen Anforderungen sind Informationen nicht bei einem oder wenigen Mitarbeitern konzentriert zu bündeln, sondern für Auswertungen, Analysen und Berichte transparent und jedem Berechtigten organisationsübergreifend zur Verfügung zu stellen. Die Skalierbarkeit der Datendarstellung ist eine wesentliche Anforderung an ein Fachsystem im Umfeld des Instandhaltungsmanagements. Abhängig von der durchzuführenden Analyse muss beispielsweise die Betrachtung von einer komprimierten Darstellung des gesamten Streckennetzes über einzelne Netzabschnitte bis hin zu Einzelmesswerten möglich sein.

Instandhaltungsmanager definieren Anforderungen an ein technisches Instandhaltungsplanungs- und Steuerungssystem heute wie folgt⁷:

- Reduzierung des Planungs-, Steuerungs- und Dokumentationsaufwands
- Gesicherte Dokumentation der Betriebs- und Funktionssicherheit der Anlage, fortschreibbar und als Lebensakte geeignet
- Gleisgrafik für Anlagenzustände, Belastungen, Bauformen und frei definierbare Eigenschaften
- Netzwerkfähige Datenbereitstellung für dezentrale und zentrale Zugriffe sowie Langzeitanalysen und Verfolgung der Zustandsentwicklung
- Integrierte Termin- und Gewährleistungsverfolgung (Kalender)
- Unterstützung der Entscheidungsprozesse und Bildung von Prioritäten
- Tagaktuelle Zustandsreports und statistische Auswertungen

⁶ Bickelhaupt, R.; Stüwe, H.: *Infrastruktur-Daten-Management – unverzichtbar für Verkehrsunternehmen? Der Nahverkehr* 12.2005

⁷ Bischoff, M.; *Messen und Inspizieren – mehr als der Nachweis des betriebssicheren Zustands, Nahverkehrspraxis* Ausgabe 6.2008

- Zustandsmonitoring und Schwachstellenanalyse
- Nutzungsdauermanagement und Zustandsprognose

Die zukünftige Entwicklung der Fahrweginstandhaltung wird durch drei Prämissen geprägt sein:

1. Die zur Verfügung stehenden Ressourcen (Finanzen und Personal) werden geringer;
2. Die Sensibilität der Betroffenen für Umwelteinflüsse wird steigen;
3. Die Möglichkeiten der EDV werden weiter zunehmen⁸.

Diese Entwicklung hat Auswirkungen auf die Planung, Steuerung und Durchführung der Instandhaltung der Verkehrsunternehmen.

Durch die höhere Leistungsfähigkeit der EDV werden in Zukunft Instandhaltungsprozesse stärker durch IT-Systeme z. B. im Rahmen der Gleismessung oder zur Prognose der Zustandsentwicklung und im Bereich der Verwaltung und Pflege von Infrastrukturdaten unterstützt. Da es sich häufig um zuständigkeitsübergreifende Prozesse handelt, werden standardisierte Datenmodelle und Schnittstellen zum Austausch der für die Instandhaltung notwendigen Daten notwendig.

An dieser Stelle sorgt der IDMVU-Standard, veröffentlicht in der VDV-Schrift 456, für die notwendige Vereinheitlichung der für das Instandhaltungsmanagement notwendigen Daten. Grundlage für die Erfassung und Verwaltung von Infrastruktur- und Zustandsdaten ist das im IDMVU-Standard definierte Gleis-Strecken-Netz. Auf dieses Netz werden alle Objekte, seien es nun Netzobjekte wie Gleise, oder eher punktuelle Objekte wie beispielsweise Weichen oder Anlagen der Leit- und Sicherungstechnik referenziert. Neben der Lage im Netz sind für die Infrastrukturobjekte alle für das Instandhaltungsmanagement notwendigen Daten im IDMVU-Standard modelliert, so dass ein IDMVU-konformes IT-System diese Daten für Prozesse des Instandhaltungsmanagements bereitstellen kann.

3.1 Das IDMVU-Zustandsdatenmodell

Speziell für die Geschäftsprozesse des Instandhaltungsmanagement wurde die TOP-Ebene Zustandsdaten im IDMVU-Standard entwickelt. In diesem Datenmodell sind die relevanten Objekte modelliert, die den Zustand der in den anderen TOP-Ebenen modellierten Infrastrukturobjekte beschreiben. Dabei ist eine Verknüpfung der Zustandsdaten mit Maßnahmen der Instandhaltung vorgesehen.

Die 15 TOP-Ebenen des IDMVU-Datenmodells sind:

- 01 Netzmodell
- 02 Gleiskörper

⁸ VDV Fahrwege der Bahnen in Nah- und Regionalverkehr in Deutschland, Alba Verlag 2007

- 03 Stromversorgung
- 04 Leit- und Sicherungstechnik
- 05 Haltestellen
- 06 Bauwerke
- 07 Kabel und Leitungen
- 08 Telekommunikation
- 09 Liegenschaften
- 10 Betriebshöfe
- 11 Notfalleinrichtungen
- 12 Allgemeine Objektarten
- 13 Zustandsdaten
- 14 Betriebliche Daten
- 15 Kaufmännische Daten

Im Datenmodell sind in der TOP-Ebene 12 verschiedene „Supertypen“ von Objekten definiert, die ihre Eigenschaften an andere Objekte vererben. Auf der obersten Hierarchieebene existiert das *IDMObjekt* als abstrakter Supertyp für alle IDM-Objektarten. Es enthält allgemeine Metadaten wie den Gültigkeitszeitraum. *IDMObjekte* sind z. B. Person, Messgerät, Zustandswert, Kategorie, Parameter.

In der nächsten Hierarchieebene ist das *InfrastrukturObjekt* definiert. Dies ist ein abstrakter Supertyp für diejenigen IDM-Objektarten, die die vorhandene Infrastruktur beschreiben. *InfrastrukturObjekte* haben i.d.R. einen Raumbezug (keine Verortung, kein Netzbezug) und darüber hinaus folgende Eigenschaften:

- Sie können Gebieten zugeordnet werden.
- Sie können Lichtraumengstellen verursachen.
- Für sie können Zustände und Mangelmeldungen erfasst werden.
- Ihr Zustand kann sich durch Zustandsänderungen (Störungen, Maßnahmen) ändern.
- Für sie können Objektbauteile angegeben werden (wichtig für betriebliche und kaufmännische Daten).

Daneben existiert in dieser Hierarchieebene das *NetzRefObjekt* als abstrakter Supertyp für allgemeine (Nicht-Infrastruktur-)Objekte, die Netzbezüge besitzen können, d.h. verortet werden können wie z. B. Zustandserfassung, Anlagenklasse, Nutzungsdauer, Mangelmeldung, Zustandsänderung.

In der letzten Hierarchieebene ist das *IfsNetzRefObjekt* ein abstrakter Supertyp für diejeni-

gen Infrastruktur-Objektarten, die Netzbezüge besitzen können, also verortet werden können.

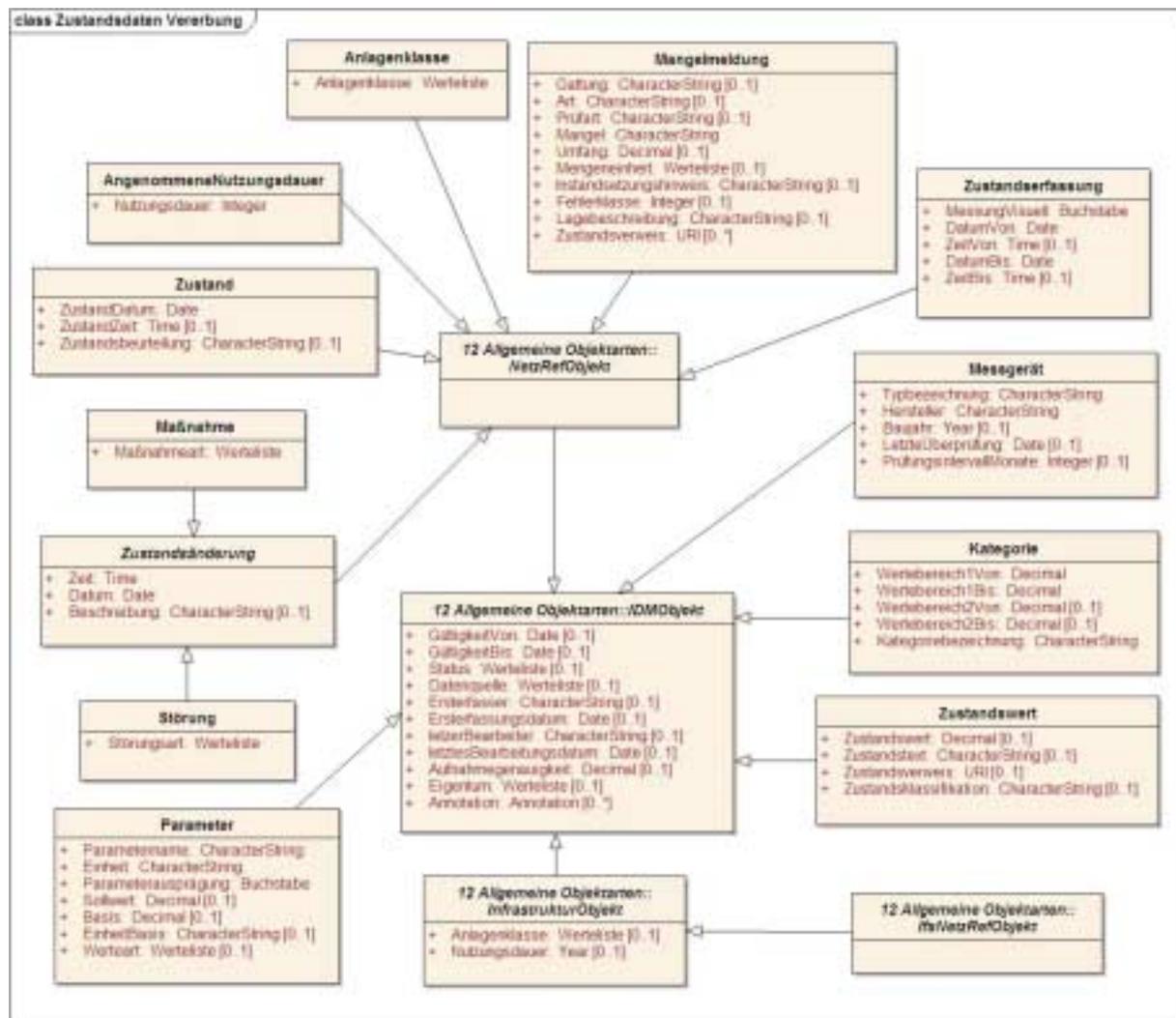


Abbildung 5: UML-Diagramm zur Vererbung in der TOP-Ebene Zustandsdaten

Eine ausführliche Beschreibung des IDMVU-Datenmodells inkl. der Beschreibung der TOP-Ebene Zustandsdaten finden sie in der VDV-Schrift 456.

Das IDMVU-Datenmodell für die Zustandsdaten ermöglicht es, die Ergebnisse einer beliebigen Zustandsdatenerfassung zu verwalten. Dabei kann für eine Zustandserfassung definiert werden

- wann (in der Objektart *Zustandserfassung*),
- in welchem Netzbereich (Strecken- oder Gleisabschnitte über die Vererbung von der Objektart *NetzRefObjekt*) und
- von wem (über die Beziehung von der Objektart *Zustandserfassung* zu der Objektart *Person*, siehe Abbildung 6)

sie durchgeführt wurde. Es wird unterschieden zwischen einer Messung oder einer visuellen Erfassung (Sichtprüfung), wobei bei der Messung das dabei eingesetzte Messsystem be-

annt werden kann.

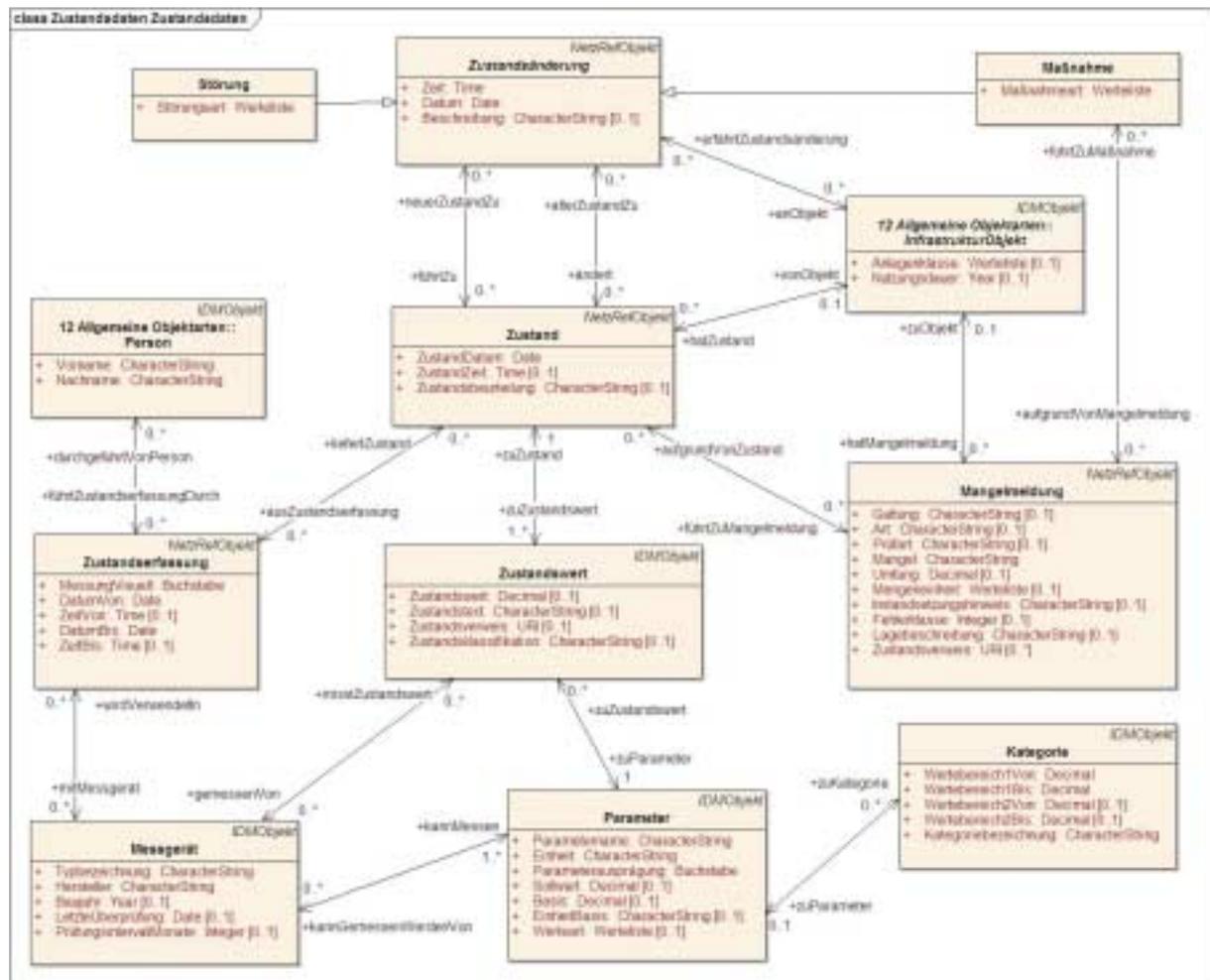


Abbildung 6: UML-Diagramm der Zustandsdaten

Im IDMVU-Datenmodell wird der Zustand von Gleis-Strecken-Teilen und Objekten, wie Weichen und Kreuzungen, durch *Parameter* beschrieben. Ein *Parameter* kann sowohl quantitative als auch qualitative Ausprägungen besitzen. Im ersten Fall beschreibt er in der Regel eine messbare Größe, im zweiten Fall eine textliche Angabe bzw. qualitative Einstufung.

Für manche Parameter ist die Angabe eines zusätzlichen Hilfwertes (einer Basis) erforderlich, damit die entsprechenden *Zustandswerte* richtig interpretiert werden können. Für die Messung einer Pfeilhöhe muss z. B. die Länge der Sehne bekannt sein, über der die Pfeilhöhe gemessen wird, damit daraus Radien abgeleitet werden können. Ähnliches gilt auch für die Erfassung von Längshöhen oder Verwindungen, die in Bezug auf eine bestimmte Basislänge gemessen werden. Im Attribut „Basis“ der Objektart *Parameter* kann die Länge einer solchen Basis abgelegt werden; zur Angabe der Einheit der Basislänge dient das Attribut „Einheit_Basis“.

Jeder Zustandserfassung können beliebig viele Daten der Objektarten *Zustand*, *Zustandswert*, *Parameter* zugeordnet werden. Damit lassen sich alle derzeit bekannten Anforderungen an ein Zustandsdatenmodell erfüllen.

Wichtige Informationen zu Infrastrukturobjekte sollen am Beispiel der Zustandserfassung und Bewertung von Gleisen und Weichen gezeigt werden.

3.2 Beispiel: Zustandsdaten Gleise

Die Verknüpfung von Zustandsdaten zum jeweiligen Objekt (z. B. eine Weiche oder ein Bauwerk) oder Gleis-Strecken-Teil erfolgt über eine Identifikationsbezeichnung wie z. B. eine eindeutige Objekt-ID. Sie dient der eindeutigen Zuordnung von Zustandsdaten zum entsprechenden Infrastrukturobjekt. Jede Zustandserfassung wird über ihre Entstehungszeit (Beginn, Ende, Datum und Uhrzeit) einmalig und ermöglicht damit eine Verfolgung der Zustandsentwicklung. Die Objektart *Zustandserfassung* dient dabei zur allgemeinen Darstellung der beiden im Modell vorgesehenen Arten von Zustandserfassungen: Die Messung und die visuelle Zustandserfassung (oder Sichtprüfung). Die zur Ausführung beider Erfassungsarten erforderlichen Kapazitäten und Messgeräte sind als Objekte im Datenmodell abgebildet.

Die Zustandsdaten werden immer auf bestehende Infrastrukturobjekte bezogen und müssen im Zusammenhang mit den Bestandsdaten (z. B. einer bestimmten Oberbauart, eines bestimmten Mastes oder einer Weiche) betrachtet werden.

Die Beispiele beziehen sich auf den folgenden Bereich (Gleis-Strecken-Teil, Bauwerk und Weiche), deren Bestandsdaten dargestellt sind.

Gleisinspektion 2008 - Gleis-Strecken-Teil

Startpunkt	Mast 246
Endpunkt	Mast 4356
Gleisbezeichnung	422/423/424
Stellwerk	570
Bezirk	VEM
Länge (m)	1163,0
Anlagenklasse	1
Messfile	10371
Kunde	Vattenfall AG,
Prüfdatum	18.08.2008

Bestandsdaten

Bauwerke

Anfang (m)	Ende (m)	Bauwerk / Einrichtung	Zustand
1494,0	1494,0	Mast 243	
1706,0	1706,0	Mast 240	
1919,0	1919,0	Mast 237	
2113,0	2113,0	Mast 4362	
2238,0	2260,0	Bahnübergang B 615	n.i.O.
2299,0	2299,0	Mast 4359	

Spezifikation

Bestandsdaten

Anfang(m)	Ende(m)	Befestigung	Schwellen/Eindeckung	Schwellennote	Schienenform	Höhe(mm)
1283	2222	W-Bau	(B)	1 (1999)	UIC60	172
2222	2446	Ks-Bau	(H)	1 (2003)	UIC60	172

Abbildung 7: Bestandsdaten eines Gleis-Strecken-Teils inkl. der Bauwerke zur Zuordnung von Zustandsdaten

Weicheninspektion		Bestandsdaten
Gleisnetz	ID 345-1000-005	Anlagenklasse: AB
Weiche Nr. :	5	Weichenantrieb: EOW
EW S49-190-1:6,6-Fz (H) links		Schienenwalzjahr: 1993
Bezirk / Stellwerk:	79.2	Schwellenjahr: 1993
Inspektion vom:	08.05.2008	Radlenker: RI 1-60
		Verschleißtyp: EWOS
		Schwellenart: Holz / Eiche
		Schwellennote: 1
		Isolierfall: kein
		Bemerkung: Weichenende Abzeig Spurhalter eingebaut



Abbildung 8: Bestandsdaten einer Weiche zur Zuordnung von Zustandsdaten

3.2.1 Bezug zum Netz

Die Referenzierung von Zustandsdaten auf das Gleis-Strecken-Netz erfolgt über die Vererbung vom *NetzRefObjekt*. Diese Objektart besitzt eine Relation zur Objektart *Netzbezug*, in der über Angabe der Station von und der Station bis sowie des Suffix für die Berücksichtigung von Fehlstationierungen der Bezug zu einem bestimmten Teil des Gleis-Strecken-Netzes hergestellt werden kann.

Hierbei handelt es sich um einen komplexen Datentyp zur Beschreibung eines Bezugs auf einen Teil eines Gleises oder einer Strecke (dargestellt in der Objektart *GleisStrecke*), der durch Stationierungsangaben beschrieben wird. Mit dem Gleis-Strecken-Teil kann auch ein punktueller Bezug auf eine Gleis-Strecke realisiert werden, indem identische von- und bis-Stationen angegeben werden. Zusätzlich kann die „Lage“ hinsichtlich der Stationierungsrichtung der referenzierten *GleisStrecke* angegeben werden (rechts/links) bzw. bei Bedarf der Abstand vom Gleis.

Im Beispiel bezieht sich die Zustandsinformation auf einen Gleis-Strecken-Teil zwischen km 1,283 und 2,197.⁹

Objektart	Name	Datentyp	Kardinalität	Beispiel
Netzbezugl (Bezug zur GleisStrecke)	Station von	Dezimalzahl	1	1283,0
	Suffix von	Dezimalzahl	0..1	
	Station bis	Dezimalzahl	1	2197,0
	Suffix bis	Dezimalzahl	0..1	
	Lage	Werteliste	0..1	links/rechts

3.2.2 Zustand

Dies ist die Objektart zur Darstellung eines Zustands eines beliebigen Objektes bzw. eines Gleis-Strecken-Teils an einem bestimmten Datum (ggf. zusätzlich auch noch zu einer bestimmten Uhrzeit). Ein *Zustand* wird durch eine beliebige Zahl von *Zustandswerten* beschrieben, die sich jeweils auf einen bestimmten *Parameter* beziehen.

Sofern ein Objekt angegeben wird, bezieht sich der *Zustand* auf dieses Objekt. Ein ggf. zusätzlich angegebener Gleis-Strecken-Teil dient in diesem Fall zur Verortung des *Zustands*. Sofern nur ein Gleis-Strecken-Teil (und kein Objekt wie ein Bauwerk oder eine Weiche) angegeben wird, bezieht sich der Zustand auf die Gleisanlagen.

Ein genaues Datum und die Uhrzeit der Zustandserfassung sind besonders wichtig für die eindeutige Identifikation einer Inspektionsmaßnahme und der Zuordnung von Teilergebnissen.

⁹ In den folgenden Tabellen werden jeweils die Objektart aus dem IDMVU-Datenmodell, die Namen der Attribute dieser Objektart, der Datentyp der Attribute und die Kardinalität in blau dargestellt. In rot dargestellt wird ein Beispiel für einen realen Wert dieses Attributes aus dem Instandhaltungsmanagement.

Objektart	Name	Datentyp	Kardinalität	Beispiel
Zustand (-> Schienenbefestigung, Spurweite, BÜ)	Datum	Datum	1	18.08.2008
	Zeit	Uhrzeit	0..1	
	Zustandsbeurteilung	Text	0..1	nicht in Ordnung (n. i. O.)

3.2.3 Zustandswert

Dies ist die Realisierung eines bestimmten *Parameters* (d.h. ein gemessener Wert oder eine visuelle Beobachtung). Ein *Zustandswert* dient zur Beschreibung des *Zustands* eines Objektes bzw. eines Gleis-Strecken-Teils.

Objektart	Name	Datentyp	Kardinalität	Beispiel
Zustandswert	Zustandswert	Dezimalzahl	0..1	1432,3
	Zustandstext	Text	0..1	Spurverengung
	Zustandsverweis	URI	0..1	Messung
	Zustandsklassifikation	Text	0..1	SR _G

3.2.4 Parameter

Der Zustand eines Objektes bzw. eines Gleis-Strecken-Teils kann durch *Parameter* beschrieben werden. Ein *Parameter* kann sowohl quantitative als auch qualitative Ausprägungen besitzen. Im ersten Fall beschreibt er in der Regel eine messbare Größe, im zweiten Fall eine textliche Angabe bzw. Einstufung. Folgende Parameterausprägungen sind möglich:

Z = Zahl

T = Text

H = Hyperlink

Werteliste für das Attribut „Wertart“: „Intervallwerte“, „nicht interpolierbare Werte“, „interpolierbare punktuelle Werte“

Für manche Parameter ist die Angabe eines zusätzlichen Hilfwertes (einer Basis) erforderlich, damit die entsprechenden *Zustandswerte* richtig interpretiert werden können. Für die Messung einer Pfeilhöhe muss z. B. die Länge der Sehne bekannt sein, über der die Pfeilhöhe gemessen wird, damit daraus Radien abgeleitet werden können. Ähnliches kann auch bei der Erfassung von Längshöhen oder Verwindungen auftreten, die in Bezug auf eine bestimmte Basis gemessen werden. Im Attribut „Basis“ kann die Länge einer solchen Basis abgelegt werden; zur Angabe der Einheit der Basislänge dient das Attribut „Einheit_Basis“.

Mit dem Attribut „Wertart“ kann angegeben werden, wie die für diesen *Parameter* ermittelten Zahlenwerte verarbeitet werden können. Hier kann die Ausprägung des Parameters hinsichtlich der Weiterverarbeitbarkeit von Werten, z.B. interpolierbar/nicht interpolierbare definiert werden. Die Angabe der Wertart ist von daher nur für die Parameterausprägung „Z“ (Zahl) sinnvoll.

Im Beispiel wird der Parameter Spurweite eines normalspurigen Gleis-Stecken-Teils mit dem Sollwert 1435 mm definiert.

Objektart	Name	Datentyp	Kardinalität	Beispiel
Parameter (Zustand des Objekts)	Parametername	Text	1	Spurweite
	Sollwert	Dezimalzahl	0..1	1435
	Einheit	Text	1	mm
	Parameterausprägung	Buchstabe	1	Z=Zahl
	Basis	Dezimalzahl	0..1	
	Einheit Basis	Text	0..1	
	Wertart	Werteliste	0..1	

3.2.5 Kategorie

Die *Kategorie* ist eine Bewertungsgruppe für einen bestimmten Wertebereich eines *Parameters* (z. B. „sehr gut“, „gut“, „befriedigend“ etc.). Falls ein symmetrischer Wertebereich (z. B. zur Kategorisierung von Abweichungen nach oben und unten um einen Sollwert herum) definiert werden soll, sind die Wertebereiche 1 und 2 anzugeben; ansonsten nur der Wertebereich 1.

Mit *Kategorien* lassen sich beliebig viele statische Toleranzbereiche definieren, die symmetrisch und asymmetrisch ausgeprägt sein können. Im Beispiel ist das Grenzmaß der Normalspurweite von < 1430 mm (SR_G) dargestellt.

Objektart	Name	Datentyp	Kardinalität	Beispiel
Kategorie (Bewertungsgruppe für Parameter)	Wertebereich 1 von	Dezimalzahl	1	1410,0
	Wertebereich 1 bis	Dezimalzahl	1	1429,9
	Wertebereich 2 von	Dezimalzahl	0..1	
	Wertebereich 2 bis	Dezimalzahl	0..1	
	Kategoriebezeichnung	Text	1	SR _G -

3.2.6 Mangelmeldung

Eine Mangelmeldung für ein Objekt oder ein Gleis-Strecken-Teil. Sofern ein Objekt angegeben wird, bezieht sich die *Mangelmeldung* auf dieses Objekt. Ein zusätzlich angegebener Gleis-Strecken-Teil (über die Vererbung von der Objektart *NetzRefObjekt*) dient in diesem Fall zur Verortung der *Mangelmeldung*. Sofern nur ein Gleis-Strecken-Teil (und kein Objekt) angegeben wird, bezieht sich die Mangelmeldung auf die Gleisanlagen. Sowohl Mess- als auch Sichtprüfungsergebnisse können als Mangelmeldungen erfasst werden.

Objektart	Name	Datentyp	Kardinalität	Beispiel
Mangelmeldung (für Objekt oder Gleis-Strecken-Teil)	Gattung	Text	0..1	Befestigung
	Art	Text	0..1	W-Bau
	Prüfart	Text	0..1	Kleineisen
	Lage	Text	0..1	links/rechts
	Mangel	Text	1	lose
	Zustandsverweis	URI	0..1	Messung, Foto etc.
	Umfang	Dezimalzahl	0..1	183
	Mengeneinheit	Werteliste	0..1	Stück
	Instandsetzungshinweis	Text	0..1	Kleineisen befestigen
	Fehlerklasse	ganze Zahl	0..1	4

3.3 Beispiel Zustandsdaten Weichen

Bei Punktobjekten wie Weichen erfordert die Zuordnung von Zustandsinformationen keine Stationierungsangabe, da hier fest definierte Messpunkte und eindeutige Baugruppenbezeichnungen verwendet werden.

Objektart	Name	Datentyp	Kardinalität	Beispiel
Zustand (beliebiges Objekt → Spurweite)	Datum	Datum	1	08.05.2008
	Zeit	Uhrzeit	0..1	
	Zustandsbeurteilung	Text	0..1	nicht in Ordnung (n. i. O.)

3.3.1 Zustand

Das Ergebnis der Spurweitenmessung am Messpunkt sez ist mit dem Zustandstext verbal erläutert („Spurerweiterung“) und mit einem Verweis auf eine Messung oder ein Bild ergänzt. Die Zustandsklasse ergibt sich aus dem Vergleich des Messergebnisses mit dem Nominalwert (Parameter) und der Kategorie (Toleranz). Im Beispiel ist die Zustandsmessung als Verletzung der Sicherheitstoleranz (SR_G) kategorisiert.

Objektart	Name	Datentyp	Kardinalität	Beispiel
Zustandswert (Realisierung Parameter → sez)	Zustandswert	Dezimalzahl	0..1	1456
	Zustandstext	Text	0..1	Spurerweiterung
	Zustandsverweis	Hyperlink	0..1	Messung, Foto etc.
	Zustandsklassifikation	Text	0..1	SR_G

3.3.2 Parameter

Im Beispiel ist der Nominalwert (Sollmaß) für die Messung der Spurweite am Punkt sez (Spurweite Weichenende Zweiggelais) angegeben.

Objektart	Name	Datentyp	Kardinalität	Beispiel
Parameter (Zustand Objekt → sez)	Parametername	Text	1	sez
	Sollwert	Dezimalzahl	0..1	1435
	Einheit	Text	1	mm
	Parameterausprägung	Buchstabe	1	Z (Zahl)
	Basis	Dezimalzahl	0..1	
	Einheit Basis	Text	0..1	
	Wertart	Werteliste	0..1	

3.3.3 Kategorie

Bei Weichen tritt eine Vielzahl unterschiedlicher und asymmetrischer Toleranzen an den einzelnen Messpunkten auf, z. B. Spurweite:

[alle Maße in mm]	SR ₁₀₀	SR _{lim}	SR _G
Sollmaß: 1435 mm	+ 10 -3	+ 15 -4	+20 -5
obere Toleranzgrenze:	1445	1450	1455
untere Toleranzgrenze:	1432	1431	1430

Mit Kategorien lassen sich beliebig viele statische Toleranzbereiche definieren, die symmetrisch und asymmetrisch ausgeprägt sein können. Für das o.g. Beispiel sind hier die Werte für den Toleranzbereich SR₁₀₀ dargestellt.

Objektart	Name	Datentyp	Kardinalität	Beispiel
Kategorie (Bewertungsgruppe für Parameter)	Wertebereich 1 von	Dezimalzahl	1	1432
	Wertebereich 1 bis	Dezimalzahl	1	1445
	Wertebereich 2 von	Dezimalzahl	0..1	
	Wertebereich 2 bis	Dezimalzahl	0..1	
	Kategoriebezeichnung	Text	1	SR ₁₀₀ -Verletzung

3.3.4 Mangelmeldung

Bei der *Mangelmeldung* für ein Objekt dient die Lageinformation zur exakten Lokalisierung innerhalb des Objekts. Die Vorgabe einer ursachengerechten Instandsetzungsmaßnahme (Instandsetzungshinweis) erfolgt idealerweise bereits während der Zustandserfassung. Ergänzende Zustandsinformationen, wie Bilder oder mit externen Messgeräten ermittelte Werte, können per Zustandsverweis mit jeder Mangelmeldung verknüpft werden. Die Kategorisierung von Mängeln erfolgt in Form von Fehlerklassen, die entsprechend der Ausprägung des Mangels dessen kodierter Mangelbeschreibung fest zugeordnet werden sollte, um eine möglichst objektive Zustandsbewertung realisieren zu können.

Objektart	Name	Datentyp	Kardinalität	Beispiel
Mangelmeldung (für Objekt oder Gleis-Strecken-Teil)	Gattung	Text	0..1	Befestigung
	Art	Text	0..1	KS-Bau
	Prüfart	Text	0..1	Schwellenschraube (Ss)
	Lage	Text	0..1	komplette Weiche
	Mangel	Text	1	lose
	Zustandsverweis	URI	0..1	Messung, Foto etc.
	Umfang	Dezimalzahl	0..1	40
	Mengeneinheit	Werteliste	0..1	Stück
	Instandsetzungshinweis	Text	0..1	Ss befestigen
	Fehlerklasse	ganze Zahl	0..1	4

Mängel

lfd. Nr.	Anfang(m)	Ende(m)	Lage	Mangelbeschreibung	Umfang	FK
1	1283,0	2197,0	links/rechts	Kleineisen lose	183 Stück	4
2	1950,0	1955,0	links/rechts	Spannklemme(n) ohne Wirkung	2 Stück	4
3	2057,0	2057,0		Betonschwelle(n) gebrochen	1 Stück	2
4	2196,0	2196,0	links	Schweißstoß Flachstelle	1 Stück	3
5	2238,0	2260,0	links/rechts	Bü - Fugenverguss beschädigt		3
6	2272,6	2273,4		Spurveigung SRG		1
7	2287,1	2289,0		Spurveigung SRG		1
8	2425,0	2426,4		Spurveigung SRG		1

Instandsetzungshinweis

Mangel-Nr.	Instandsetzungsempfehlung	Erledigt
1	Kleineisen befestigen	
2	Spannklemme(n) kraftschlüssig verspannen	
3	Schwelle(n) erneuern	
4	Schweißstoß schweißtechnisch instandsetzen	
5	Fugenverguss erneuern	
6	Spurkorrektur durch Einbau Keilförmiger Zwischenlagen	
7	Spurkorrektur durch Versetzen der Rippenplatte(n)	
8	Spurkorrektur durch Einbau Keilförmiger Zwischenlagen	

Ort, Datum: , 18.08.2008

Prüfer: Schluck

Ausgabe 11.08



Bild zu Mangel 1



Bild zu Mangel 2

Abbildung 9: Gleisdokumentation mit zusammengeführten kategorisierten Zustandsdaten aus Messung, visueller Prüfung und abgeleiteten Maßnahmen eines Gleis-Strecken-Teils

Weicheninspektion

Bestandsdaten

Gleisnetz	ID 345-1000-005	Anlagenklasse:	AB	
Weiche Nr.:	5	Weichenantrieb:	EOW	
EW S49-190-1.6,6-Fz (H) links		Schienenwalzjahr:	1993	
Bezirk / Stellwerk	79.2	Schwellenjahr:	1993	
Inspektion vom:	08.05.2008	Radlenker:	R11-60	
		Verschleißtyp:	EWOS	
		Schwellenart:	Holz / Eiche	
		Schwellennote:	1	
		Isolierfall:	kein	
		Bemerkung:	Weichenende Abzieg Spurhalter eingebaut	

Zustand / Funktionsvollständigkeit	i.O.	n.i.O.	MangelNr.	Lage	Beschreibung des Mangels	Fehlerklasse
Spurweiten		x	1	shz	Spurverengung	1
			2	sez	Spurerweiterung	1
Rillenweiten		x	3	rz	Rillenverengung	2
Leitweiten	x					
Zungenaufschlag	x					
ggs.Höhenlage	x					
Längshöhe	x					
Richtung		x	4	Herzstück	Richtungsfehler	4
Bettung	x					
Schienen		x	5	Radlenkerfahrtschiene links	Gratbildung 1-2 mm 4 m	4
Herzstück		x	6	Flügelschiene	Flügelschiene eingefahren > 2 mm 3-4 mm	3
Radlenker	x					
Schwellen		x	7	Weichenende	Rippenplatte(n) in Holzschwelle(n) eingearbeitet 3 Stück	2
Gleitstühle/-platten	x					
Stütznaggen/-winkel	x					
Rippenplatten	x					
Schwellenschrauben		x	8	komplette Weiche	Schwellenschraube(n) lose 40 Stück	4
Haken-schrauben	x					
Spannklemmen	x					
Federlinge	x					
Weichenschrauben	x					
Zwischenlagen	x					
Schweißstöße	x					
Verschluss	x					
Zungenanlage		x	9	links	keine korrekte Anlage Zunge(n) an Backenschiene 10 mm	3
Zungenroller	x					
Weichengrenzzeichen	x					

i.O. = in Ordnung n.i.O. = nicht in Ordnung, bitte ins Zustandsprotokoll beschriften!

Instandsetzungshinweise:

zu mög. Mangel Nr.	Instandsetzungsempfehlung	Erledigt
1	Spurkorrektur durch Rippenplatte(n) versetzen	
2	w. d. Schwellenwechsel korr.	
3	Radlenkerfutterbleche entfernen	
4	zur Zeit kein Handlungsbedarf	
5	Schiene nquerprofil schleift echnisch instand setzen	
6	Längsprofilbearbeitung	
7	Schwelle(n) erneuern	
8	Schwellenschraube(n) befestigen	
9	Zunge(n) autogen mit Flamme richten	

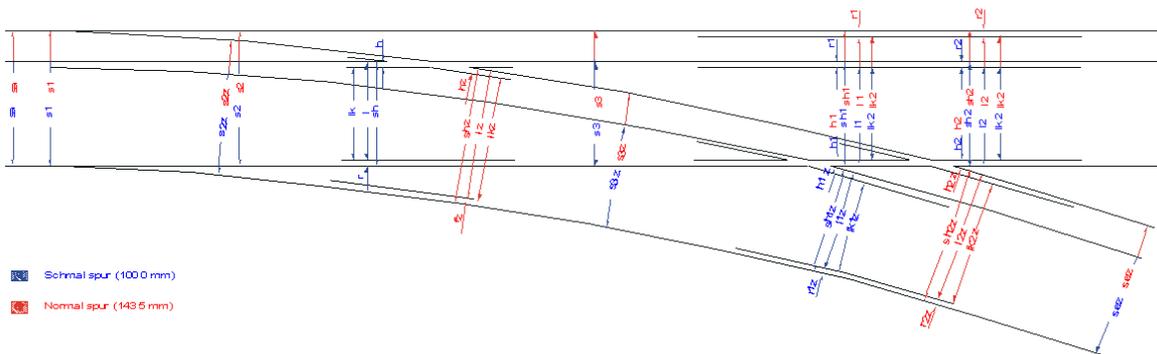
Datum der Prüfung: 08.05.2008 Prüfer: HaafS



Bild zu Mangel Nr. 7

Abbildung 10: Zusammengefasstes Inspektionsergebnis einer Weiche mit Bestands- und Zustandsdaten.

Weiche Nr.	5	Bemerkungen:
ID	ID 345-1000-005	
Bezirk/Stellwerk	79.2	
Prüfblatt	Quermäßtabelle 3.1 R = 50 m	



Sollmaße (Messebene 14 mm unter SO)				Toleranzen (Tab. 3 vom Feb 2009)				Prüfungen (Toleranzverletzungen farblich markieren)					
Bereich	Messpunkt	Regelspur	Meterspur	SR ₁₀₀		SR _{lim}		Datum: 8.5.08		Datum:		Datum:	
				+	-	+	-	Prüfer:	Haarß	Prüfer:	Prüfer:	Regelspur	Meterspur
	sa	1435	1000	10	15	20	0	1435	1000				
	s1	1435	1000	10	15	20	0	1435	1000				
	s2	1435	1000	10	15	20	0	1435	1000				
	s2z	1435	1000	10	15	20	0	1435	1000				
	sh	-	1000	7	11	15	0	-	1000				
	h	-	28	6	11	17	7	-	28				
	l	-	977	-3	-	-	-	-	977				
	lk	-	952	0	0	0	-	-	952				
	r	-	23	6	11	22	2	-	23				
	shz	1435	-	7	11	15	0	1433	-				
	hz	28	-	6	11	17	7	28	-				
	lz	1412	-	-3	-	-	-	1412	-				
	lkz	1388	-	0	0	0	-	1388	-				
	rz	23	-	6	11	22	2	20	-				
	s3	1435	1000	10	15	20	0	1435	1000				
	s3z	1435	1000	10	15	20	0	1435	1000				
	sh1	1435	1000	7	11	15	0	1435	1000				
	h1	28	28	6	11	17	7	28	28				
	l1	1412	977	-3	-	-	-	1412	977				
	lk1	1388	952	0	0	0	-	1387	952				
	r1	23	23	6	11	22	2	23	23				
	sh1z	-	1000	7	11	15	0	-	1000				
	h1z	-	28	6	11	17	7	-	28				
	l1z	-	977	-3	-	-	-	-	977				
	lk1z	-	952	0	0	0	-	-	952				
	r1z	-	23	6	11	22	2	-	23				
	sh2	1435	1000	7	11	15	0	1435	1000				
	h2	28	28	6	11	17	7	28	28				
	l2	1412	977	-3	-	-	-	1412	977				
	lk2	1388	952	0	0	0	-	1388	952				
	r2	23	23	6	11	22	2	23	23				
	sh2z	1435	-	7	11	15	0	1435	-				
	h2z	28	-	6	11	17	7	28	-				
	l2z	1412	-	-3	-	-	-	1412	-				
	lk2z	1388	-	0	0	0	-	1388	-				
	r2z	23	-	6	11	22	2	23	-				
	se	1435	1000	10	15	20	0	1435	1000				
	sez	1435	1000	10	15	20	0	1456	1000				

Abbildung 11: Messergebnis einer mehrspurigen Weiche (Normal + Meterspur) im Rahmen einer Weicheninspektion. Die gelb unterlegten Messungen sind im Beispiel erläutert.

4 Prozesse des Instandhaltungsmanagements

Das Datenmodell des IDMVU unterstützt das Instandhaltungsmanagement bei der Ausführung der in Teil 1 des Leitfadens „Innovatives Instandhaltungsmanagement mit IDMVU“ beschriebenen Prozessschritte:

1. Anlagendifferenzierung durch Belastungsklassen
2. Planung der messtechnischen Zustandserfassung
3. Planung der visuellen Zustandserfassung
4. Aufnehmen von Störungsmeldungen
5. Durchführung der messtechnischen Zustandserfassung
6. Durchführung der visuellen Zustandserfassung für Hauptprüfungen
7. Durchführung der visuellen Zustandserfassung für Nebenprüfungen
8. Durchführung der Messwertverdichtung
9. Durchführung der Messwertklassifikation
10. Durchführung der Mangelbewertung
11. Zusammenführen der Ergebnisse der Hauptprüfung – bestehend aus Messungen und visuellen Zustandsprüfungen
12. Einleitung von Sofortmaßnahmen
13. Planung kurz-, mittel- und langfristiger Maßnahmen
14. Unterstützung der Steuerung während der Durchführung der Maßnahmen
15. Dokumentation der Maßnahmendurchführung
16. Bewertung der Maßnahmenqualität

Im Folgenden werden ergänzende Hinweise zu wesentlichen Prozessinhalten gegeben.

4.1 Anlagendifferenzierung durch Belastungsklassen (Anlagenklassen)

Die Klassifizierung der Infrastruktur nach ihrer Bedeutung für den Bahnbetrieb erleichtert eine Fokussierung auf das Wesentliche. Wichtige und stark genutzte Anlagenobjekte sind intensiver und gründlicher instand zu halten als weniger wichtige und genutzte.

Weitere Kriterien sind Ausfallkosten im Störfall oder beim Totalausfall von Anlagen, bzw. inwieweit Anlagen durch alternative Fahrbeziehungen umfahren werden können.

Die ABC-Analyse hat sich als praktikable Methode zur Identifizierung von Anlagenklassen bewährt. Sie stellt die praktische Anwendung der Pareto-Verteilung¹⁰ im Rahmen betriebs-

¹⁰ 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, wohingegen

wirtschaftlicher Analysen dar. Demnach unterliegen Anlagen der Klasse A einer hohen Nutzung, Belastung und Bedeutung – Anlagen der Klasse C der geringsten. Die Anlagenklasse dient darüber hinaus auch als Indikator für die durchschnittliche wirtschaftliche Nutzungsdauer von Anlagenobjekten und kann zur Einschätzung des theoretischen Ersatzzeitpunkts im Rahmen der Langfristplanung verwendet werden.

Anlagenklassifizierung ermöglicht:

- Das Wesentliche vom Unwesentlichen zu trennen,
- Rationalisierungsschwerpunkte zu setzen,
- Unwirtschaftliche Anstrengungen zu vermeiden,

und somit in der Summe, sowohl die Sicherheit als auch die Wirtschaftlichkeit der Instandhaltung zu steigern.

Die Oberbaurichtlinien OR 4 empfehlen folgende Einteilung in Betriebsklassen von Gleisen:

(4) Die Gleisanlagen können nach Art und Stärke der Beanspruchung durch den Bahnbetrieb sowie entsprechend ihrer Bedeutung nach Betriebsklassen eingeteilt und mit Kennziffern bezeichnet werden.

Betriebsklasse 1: Streckengleise, die im Linienverkehr befahren werden

Betriebsklasse 2: Streckengleise, die nicht im Linienverkehr befahren sowie alle Aufstellgleise (Betriebshof-, Werkstatt-, Bauhofanlagen), die regelmäßig befahren werden.

Betriebsklasse 3: Gleise, die nicht regelmäßig befahren werden, z.B. Streckengleise für Umleitungsfahrten, Aufstellgleise mit geringer Belastung.

Um eine Verwechslung mit den unten beschriebenen Fehlerklassen zu vermeiden, hat sich die Verwendung von A-B-C und gegebenenfalls Anlageklasse D bewährt. Zur besseren Differenzierung verwenden große Netzbetreiber mitunter auch 4 Anlagenklassen, z. B. die Leipziger Verkehrsbetriebe:

Anlagenklasse A: > 4.500 Achsübergänge / d

Anlagenklasse B: 2.500 - 4.499 Achsübergänge / d

Anlagenklasse C: 500 - 2.499 Achsübergänge / d

Anlagenklasse D: < 499 Achsübergänge / d

gen der überwiegende Teil der Elemente nur sehr wenig zum Gesamtwert beiträgt. Daraus leitet sich das Pareto-Prinzip, auch 80:20-Regel ab: 80% des Erfolgs erreicht man mit 20% der Mittel.

Neben der Nutzungshäufigkeit kann auch der Umsatzerlös von Trassen als Klassifizierungskriterium dienen, z.B. 3-i-Strategie der DB Netz AG¹¹, die ihre Infrastruktur nach Auslastung Umsatzanteil (1-3) und Qualitätsanspruch (4) kategorisiert und die Mittel dementsprechend einsetzt:

Streckenkategorie 1	> 55.000 EUR Umsatz bzw. km pro Jahr
Streckenkategorie 2	34.000 – 55.000 EUR Umsatz bzw. km pro Jahr
Streckenkategorie 3	< 34.000 EUR Umsatz bzw. km pro Jahr
Streckenkategorie 4	örtliche Anlagen, wie Zugbildungs- und Bereitstellungsanlagen differenziert nach Qualitätsanspruch (Premium, Plus, Basis)

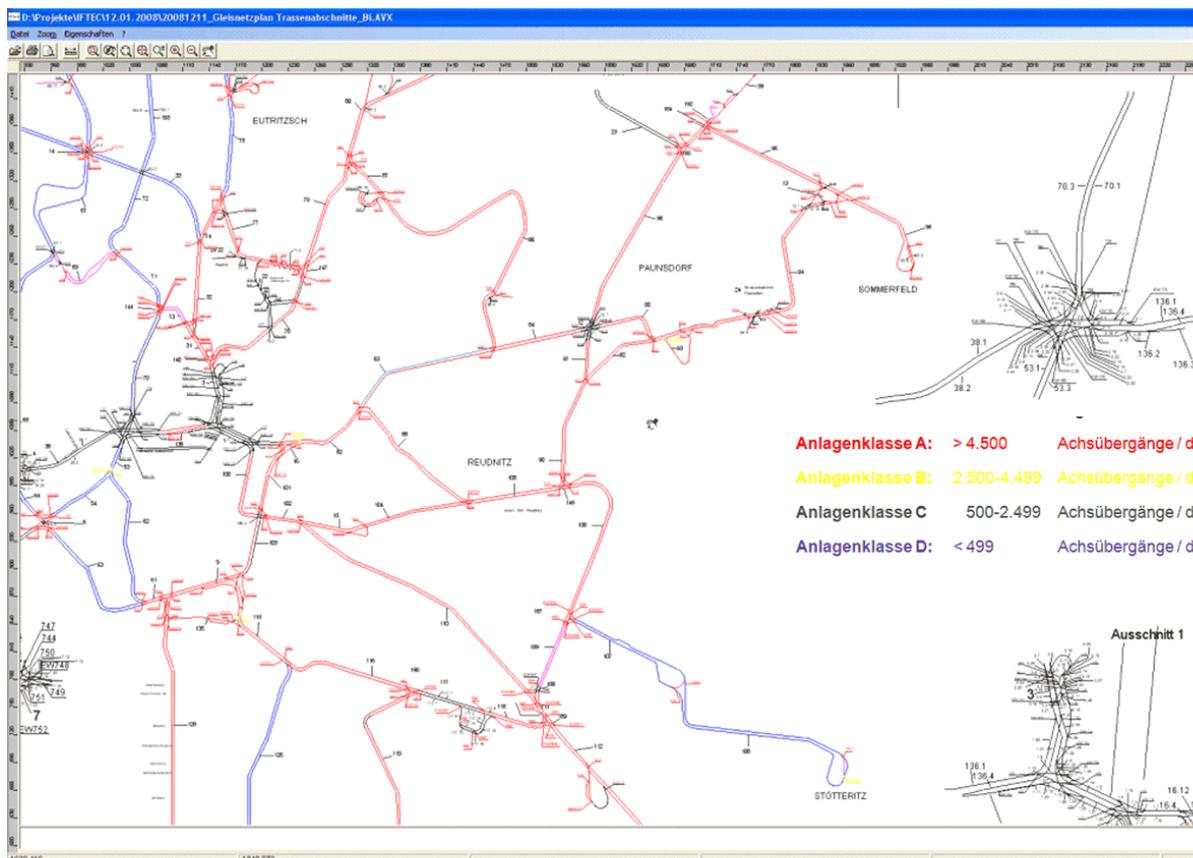


Abbildung 12: Beispiel einer Anlagenklassifizierung mit 4 Klassen: A-B-C-D (Quelle: Netz der Leipziger Verkehrsbetriebe LVB nach Nutzungshäufigkeit)

Das Belastungskriterium Achsübergang eignet sich insbesondere dann, wenn der Schienenverkehr überwiegend mit homogenen Fahrzeugen annähernd gleicher Achslast durchgeführt wird, wie beispielsweise im Straßen- U- und Stadtbahnbetrieb. Jeder Achsübergang verursacht eine Beanspruchung von Schiene, Befestigung und Schwelle – und das selbst bei Betonschwellen: *Alle beobachteten Schwellen werden demnach bei jedem Achsübergang auf*

¹¹ Im Rahmen der 3-i-Strategie definiert die DB AG Kriterien zur zielgerichteten Mittelallokation

Biegung beansprucht sowie der Schotter ungleichmäßig und höher belastet¹². (Die Schwellen B 70 bogen sich mit der Mitte nach unten durch (konkav) bis zu 0,25 mm unter dem ICE-Triebkopf. Bei allen Schwellen B 90 wurden dagegen Biegungen mit der Mitte nach oben (konvex) bis zu 0,4 mm unter dem ICE-Triebkopf beobachtet).

Durch eine primäre Orientierung an der Betriebsbelastung kann die Anlagenklassifizierung zusätzlich zur Bestimmung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer (siehe Kapitel 4.6.2) herangezogen werden. Ergebnis ABC-Analyse Weichen

WE gesamt: 40

Belastung	Anlagenklasse	Weichenkonfiguration	Anzahl WE	Anteil %	geschätzte Ø wirtsch. Nutzungsdauer	Erneuerungsbedarf p.a.	WE
hoch	A	Premium	8	20%	15 Jahre	1/15	0,5
mittel	B	Basic	26	65%	25 Jahre	1/25	1,0
schwach	C	Light	6	15%	50 Jahre	1/50	0,1
Summe			40	100%			1,7

Abbildung 13: Ergebnis einer ABC-Analyse zur Anlagenklassifizierung von Weichen

Kriterium Lärmschutz

Als weiteres Klassifizierungsmerkmal kommt der Lärmschutz in Betracht. Die Europäische Union hat mit der sogenannten Umgebungslärmrichtlinie¹³ auf die erheblichen Lärmbelastungen vor allem in Ballungsräumen reagiert, da hier mindestens 25 % der Bevölkerung unter Lärmbelastung leiden. Diese Richtlinie wurde mit § 47a-f BImSchG in deutsches Recht umgesetzt. Ergänzend trat die Verordnung über die Lärmkartierung in Kraft, von der Hauptstrecken der Bahn und sonstige Schienenwege nach AEG sowie Schienenwege von Straßenbahnen im Sinne des §4 PBefG betroffen sind.

Da das Rad/Schiene System durch Anregungen Schallemissionen verursacht, ist auch der Zustand von Schienen, insbesondere der Fahrflächen (Rauigkeit, Riffel, Lücken, Flachstellen, Auskehlungen, Schweiß- und Isolierstöße) für Fragen des Schallschutzes von Bedeutung.

Als lärmindernde Maßnahmen finden insbesondere die besondere Überwachung des Schienenzustandes („Besonders überwachtetes Gleis“ [BüG]) und die Reduzierung von Kurvenquietschen, z. B. durch Schmier- oder Wassersprühanlagen, Anwendung.

Aus diesem Grund können auch als BüG eingestufte Netzabschnitte in Anlagenklasse A eingestuft werden.

¹² Müller-Boruttau, Kleinert: Besohlte Schwellen ETR Heft 3/2001

¹³ Das Gesetz zur Umsetzung der EG-Richtlinie 2002/49/EG über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm wurde am 24. Juni 2005 vom Bundestag beschlossen und am 29. Juni 2005 im Bundesgesetzblatt veröffentlicht.

4.2 Durchführung der Zustandserfassung (Haupt- und Nebenprüfung)

Für den Fahrweg Schiene werden zur Wahrung der gesetzlichen Nachweispflicht regelmäßig Prüfungen durchgeführt. Dabei wird der aktuelle Betriebszustand festgestellt und dokumentiert.

Die Inspektion dient darüber hinaus 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. Mit dieser Standardisierung lassen sich zudem die subjektiven Einflüsse so weit reduzieren, dass man von einer reproduzierbaren Zustandsbeschreibung ausgehen kann.

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 (sog. Negativprüfung, da nur Mängel erfasst werden – und nicht die Mangelfreiheit pro m explizit geprüft und dokumentiert wird).

Das inspektive Verfahren der Zustandserfassung und -beurteilung wird in der Regel als ein Mix aus Haupt- und Nebenprüfungen angewandt:

- Die Hauptprüfung dient der umfassenden Aufnahme von Zustandsdaten und im Wiederholungsfall eines Bestandsdatenabgleichs. 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 visueller Prüfung (Spurweite, Überhöhung, Bogenradius, Verwindung, Rillentiefe, Rillenweite, Gradienten, Messstrecke) und der Erfassung oder Verifizierung der Stammdaten. Messung und Sichtprüfung können zeitlich unabhängig voneinander erfolgen. Werden messtechnische und visuelle Zustandserfassung unabhängig voneinander durchgeführt, sollte zunächst die Messung durchgeführt werden und im Anschluss daran die visuelle Zustandserfassung erfolgen. Die Vorlage aktueller Messergebnisse unterstützt dabei die visuelle Zustandserfassung bei der Mangel detektion und dient gleichzeitig zur Plausibilisierung von Gleismessergebnissen, die einen Ausfall an Toleranzgrenzen aufweisen. Um Messergebnisse ist eine gesonderte visuelle Nachprüfung erforderlich, um ursachengerechte Maßnahmen veranlassen zu können. Die Hauptprüfungen der Weichen und Gleise finden in der Regel 1-2 x pro Jahr statt.
- Die Nebenprüfung verfolgt den Zweck der unterjährigen Überprüfung der Sicherheit, das heißt, hier steht nicht die Informationsgewinnung für die Instandhaltungsplanung

im Vordergrund, sondern die Prüfung des ordnungsgemäßen Zustands und die Veranlassung der Beseitigung festgestellter Störungsursachen. Nebenprüfungen sind visuelle Sicherheitsüberprüfungen, in Form von Begehungen durch den oder die Anlagenverantwortlichen. Der Zustand der Anlagen wird nicht komplett erfasst und detailliert bewertet sondern nur auf gravierende Mängel der Fehlerklasse 1 [SR_G] und 2 [SR_{lim}] hin überprüft. Messungen finden nur stichprobenartig bei einem entsprechenden Hinweis statt. Die Begehung beschränkt sich auf das Erkennen von Schadensentwicklungen oder Schäden durch Augenschein. Durch diese Inspektionsart wird der Fahrweg und die Bahnanlage im Sinne § 17 Abs. 2 EBO überwacht. Die Nebenprüfungen der Weichen und Gleise finden in der Regel 3-4 x pro Jahr statt.

Fristen und Umfänge der Inspektions-, Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten werden möglichst dynamisch gehandhabt und regelmäßig auf Änderungsbedarf hin überprüft, damit eine optimale Nutzung der Abnutzungsvorräte ermöglicht wird. Differenzierte Inspektionsintervalle bieten sich demnach für die einzelnen Anlagenklassen an, z. B.:

Anlagenklasse	Hauptprüfung(en) p.a.	Nebenprüfung(en) p.a.
A	2 x	4 x
B	1 x	3 x
C	1 x in 3 Jahren	1 x

Neben dem Kriterium Belastung ist eine Differenzierung nach Geschwindigkeitsbereichen üblich.

Aber auch ein schlechter Anlagenzustand kann zu kürzeren Inspektionsintervallen führen, da sich die Überprüfung und das Testat des ordnungsgemäßen Zustands auf den Zeitraum bis zur nächsten Prüfung bezieht.

Das IDM-Zustandsmodell verwendet „Zustand“ als Objektart zur Darstellung des Zustands eines beliebigen IDM-Objektes bzw. eines Gleis-Strecken-Teils an einem bestimmten Datum (ggf. zusätzlich auch noch zu einer bestimmten Uhrzeit). Ein Zustand wird durch eine beliebige Zahl von Zustandswerten beschrieben, die sich jeweils auf einen bestimmten Parameter beziehen.

4.3 Durchführung der messtechnischen Zustandserfassung

4.3.1 Weichen

Die Quermaße von Gleisen und Gleiskonstruktionen, das sind z. B. Weichen, Kreuzungen, Kreuzungsweichen und Schienenauszugsvorrichtungen, werden im Rahmen von Hauptprüfungen regelmäßig gemessen. Die Weichen werden dabei diskontinuierlich, an fest definierten Punkten gemessen. Je nach Bauart der Weiche variieren Sollmaße und Toleranzen der Spur- und Rillenweiten innerhalb der Baulänge, da der Spurkanal in der Weiche verjüngt

wird, damit der im Gleis vorteilhafte Sinuslauf in der Weiche beendet wird und die Fahrzeuge hier enger und präziser geführt werden.

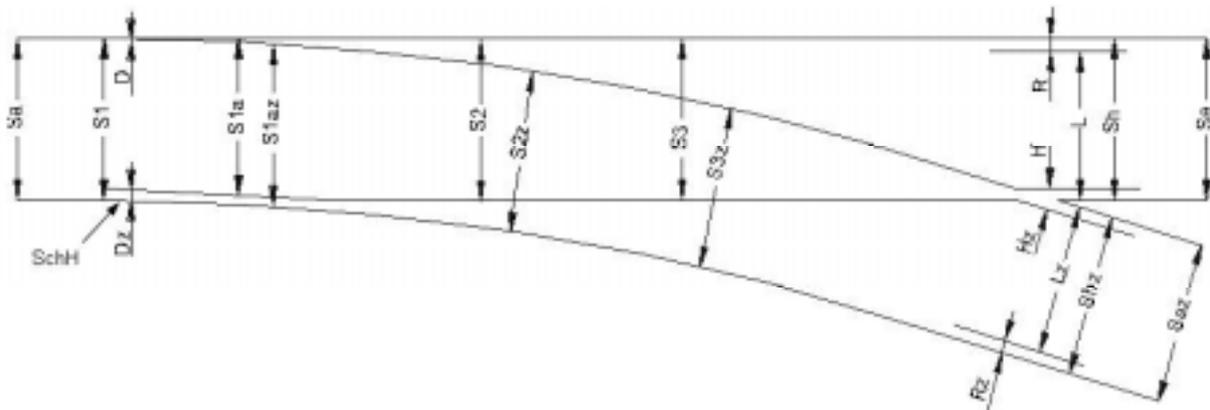


Abbildung 14: Beispiel einer Messpunktsskizze für Quermaßmessung für Einfache Weichen EW 49-190-1:9-Fsch-(H).

Die Messpunkte innerhalb von Weichen sind in ihrer Lage und Bezeichnung eindeutig zu beschreiben. Gemäß TR Sp¹⁴ werden die den Merkmalen zugeordneten Abmessungen in der Regel am Gleis mit dem Zusatz „-weite“, am Radsatz mit dem Zusatz „-maß“ bezeichnet. Gleisbezeichnungen werden in Großbuchstaben, Radsatzbezeichnungen in Kleinbuchstaben gehalten, z. B. S2 = Spurweite am Ende der Zungenvorrichtung, S2z der Zusatz z bedeutet, dass es sich hierbei um eine Messstelle im Zweiggelais der Weiche handelt.

Messpkt.	Beschreibung	genaue Lage	Gleis	Geometrie
Sa	Spurweite Weichenanfang	Schweißstoß	Hauptgleis	alle
S1	Spurweite Zungenspitze	Zungenanfang	Hauptgleis	alle
SchH	Schienehöhe Backenschiene	Verschlußfach	Hauptgleis	alle
D	Durchfahrillenweite	engste Rillenweite zw. abl. Zunge u. BaSchiene	Hauptgleis	alle
Dz	Durchfahrillenweite	engste Rillenweite zw. abl. Zunge u. BaSchiene	Zweiggelais	alle
S1a	Spurweite Ende Zungenanschlagbereich	am Ende der Zungenhobelung	Hauptgleis	alle
S1az	Spurweite Ende Zungenanschlagbereich	am Ende der Zungenhobelung	Zweiggelais	alle
S2	Spurweite Ende Zungenvorrichtung	Zunge am 1. eingespannten Bef.Pkt.	Hauptgleis	alle
S2z	Spurweite Ende Zungenvorrichtung	Zunge am 1. eingespannten Bef.Pkt.	Zweiggelais	alle
S3	Spurweite zwischen Zungenvorrichtung u. Herzstück	s2 + 10 Schwellen	Hauptgleis	alle
S3z	Spurweite zwischen Zungenvorrichtung u. Herzstück	s2z + 10 Schwellen	Zweiggelais	alle
S4	Spurweite zwischen Zungenvorrichtung u. Herzstück	s3 + 10 Schwellen	Hauptgleis	alle
S4z	Spurweite zwischen Zungenvorrichtung u. Herzstück	s3z + 10 Schwellen	Zweiggelais	alle
S5	Spurweite zwischen Zungenvorrichtung u. Herzstück	s4 + 10 Schwellen	Hauptgleis	ab R 300 m
S5z	Spurweite zwischen Zungenvorrichtung u. Herzstück	s4z + 10 Schwellen	Zweiggelais	ab R 300 m
S6	Spurweite zwischen Zungenvorrichtung u. Herzstück	s5 + 10 Schwellen	Hauptgleis	ab R 500 m
S6z	Spurweite zwischen Zungenvorrichtung u. Herzstück	s5z + 10 Schwellen	Zweiggelais	ab R 500 m
Üsh	Überhöhung (ggs. Höhenlage) Herzstück 400 mm hinter Sh	außerhalb der Herzstückspitzenrampe	Hauptgleis	alle
Sh	Spurweite Herzstück (150 mm hinter Spitze gem.)	150 mm hinter Herzstückspitze	Hauptgleis	alle
H	Rillenweite Herzstückrille	150 mm hinter Herzstückspitze	Hauptgleis	alle
L	Leitweite (außerhalb des Einlaufbereichs d. Radlenkers)	Radlenker u. Radlenkerfahrtschiene parallel	Hauptgleis	alle
R	Rillenweite Radlenker	an Meßstelle L	Hauptgleis	alle
Üshz	Überhöhung (ggs. Höhenlage) Herzstück 400 mm hinter Shz	außerhalb der Herzstückspitzenrampe	Zweiggelais	alle
Shz	Spurweite Herzstück (150 mm hinter Spitze gem.)	150 mm hinter Herzstückspitze	Zweiggelais	alle
H _z	Rillenweite Herzstückrille	150 mm hinter Herzstückspitze	Zweiggelais	alle
L _z	Leitweite (außerhalb des Einlaufbereichs d. Radlenkers)	Radlenker u. Radlenkerfahrtschiene parallel	Zweiggelais	alle
R _z	Rillenweite Radlenker	an Meßstelle L _z	Zweiggelais	alle
Se	Spurweite Weichenende	Schweißstoß	Hauptgleis	alle
Sez	Spurweite Weichenende	Schweißstoß	Zweiggelais	alle

Abbildung 15: Beschreibung und Lage der Messpunkte einer Vignolschiene weiche im Nahverkehr

¹⁴ Technische Regeln für die Spurführung von Schienenbahnen nach der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab)

und Güterverkehr¹⁵

Die Abstände der Messpunkte innerhalb von Weichen und Kreuzungen können individuell angepasst werden. In der Regel wird ein Messpunktabstand von 10 Schwellen zwischen 2 Messpunkten innerhalb von Weichen festgelegt (ca. 6,0 m) – die DB AG hat mit der 1999 eingeführten Ril 821.2005 eine Verdichtung auf 3 Schwellen vorgenommen.

Die Bewertung der Messergebnisse erfolgt mittels Toleranzgrenzen. In der Vergangenheit wurde in der Regel nur eine Toleranz verwendet (SR_{lim}). Die 4-stufige Toleranz bietet dem gegenüber deutlich mehr Interpretationssicherheit, da jeder gemessene Wert exakt der entsprechenden Verschleißgruppe zugeordnet und kategorisiert werden kann.

Messwerte Weiche

Sollmaße und Toleranztabelle

Messparameter	Toleranzbereich								Maß-	Hinweise
	SR_A		SR_{100}		SR_{lim}		SR_G	SR_G		
	Nominal	Tol. +	Td. -	Td. +	Tol. -	Tol. +	Td. -	Maximum	Minimum	
Weiche										
Spurweite	x	x	x	x	x	x	x	x	x	mm (E)BOA und EBO gesetzliche Grenzen
Überhöhung	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Sollvorgaben entsprechend der Trassierung
Verwindung	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Basislänge festlegen (o/o)
Rillenweite	x	x	x	x	x	x	x	x	x	mm
Rillentiefe	x		x		x		x		x	mm
Leitkantenabstand								x		mm nur Maximalwert

 = nicht relevant

Die Weichenvermessung erfolgt punktuell an fest definierten Messpunkten gemäß Messpunktskizze.

Abbildung 16: Messparameter von Weichen und deren 4-stufige Toleranzen (SR_A , SR_{100} , SR_{lim} und SR_G .)

4.3.2 Gleise

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 Gleiskörpers¹⁶.

Die innere Geometrie wird mit Messfahrzeugen kontinuierlich gemessen. Die Beschreibung der Messgerätevielfalt würde den Rahmen 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,

¹⁵ Die Inspektionsvorschrift der DB AG (Ril 821.2005) sieht für Weichen und Kreuzung wesentlich mehr Messpunkte vor (etwa an jeder 3. Schwelle).

¹⁶ Roesch, M.: Moderne Gleismessfahrzeuge für den Nachweis der qualitätsgerechten Bauausführung. Eisenbahn Ingenieur (55) 9/2004, S. 48.

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 seiner Messdaten.

Ohne visuelle Unterstützung lassen sich Linienelemente 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.

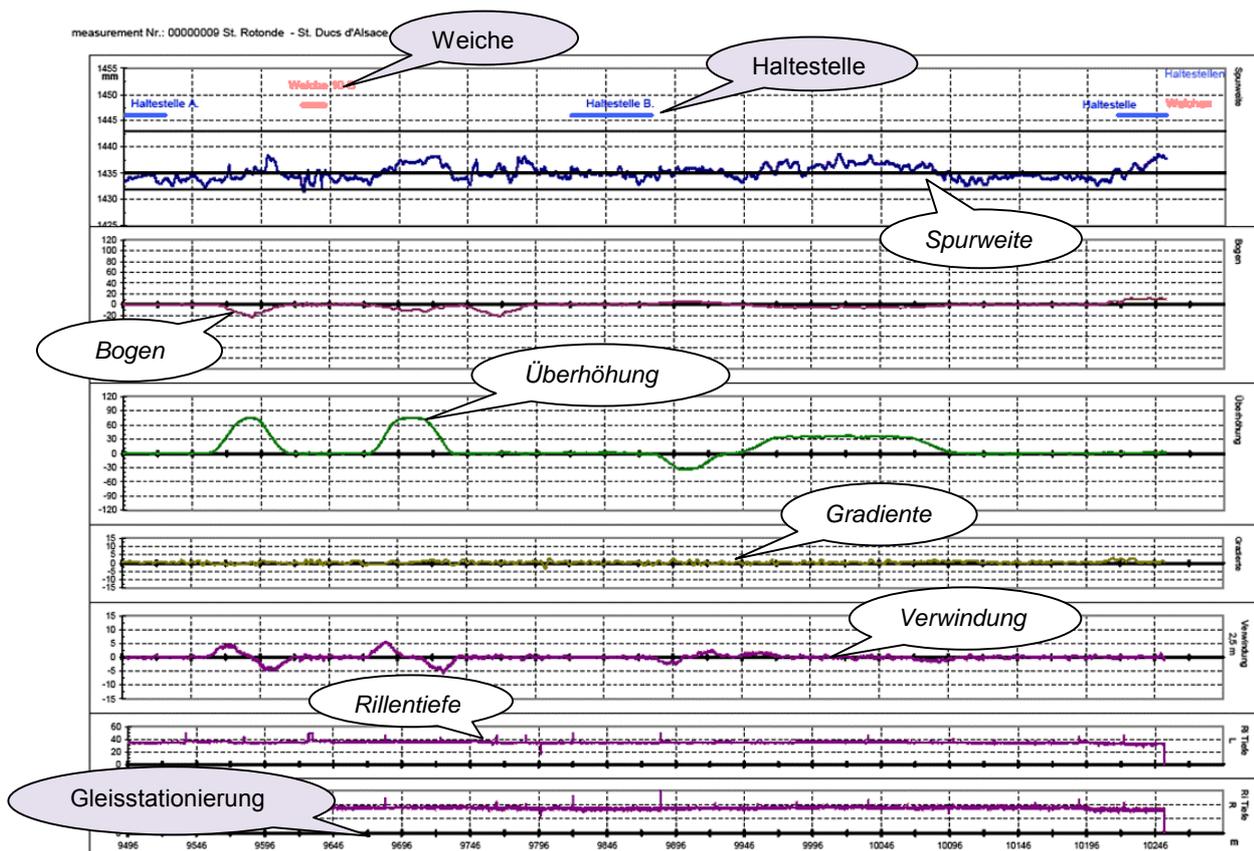


Abbildung 17: Ergebnis einer digitalen Gleisgeometriemessung

Grundsätzlich basieren alle gültigen und den Sicherheits- und Zulassungsprüfungen zugrunde liegenden geometrischen Grenzwerte und Toleranzen auf der unbelasteten Messung von Gleisen und Weichen. Unbelastete Messungen garantieren die höchste Reproduzierbarkeit

und geben einen neutralen Gleiszustand wieder.

Die fehlende Betriebslast wird durch eine gleichzeitig mit der Messung durchgeführte visuelle Prüfung ersetzt. Der Fachmann erkennt dabei Veränderungen, die unter Last auftreten, im Rahmen der direkten Sichtprüfung anhand von Bewegungsspuren, z. B. Materialabrieb, hellen Rostpartikeln, Luftspaltbildung sehr gut. Diese gehen idealerweise 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.

Das kontinuierliche Einscannen der Schienenquerprofile mittels Lichtschnittverfahren eröffnet dem Anwender neben der reinen Ist-Aufnahme die Möglichkeit, weitere Informationen zum Zustand eines wesentlichen Gleiselements, der Schiene zu generieren. Verfeinerte Erfassungssysteme sind inzwischen in der Lage, eine automatische Schienenprofilerkennung sowie den Vergleich des Istprofils mit dem Neuprofil durchzuführen. Aus dem Vergleich von Verschleiß- und Neuprofil lässt sich der Verschleiß an Höhe und Seite(n) quantifizieren und darstellen.

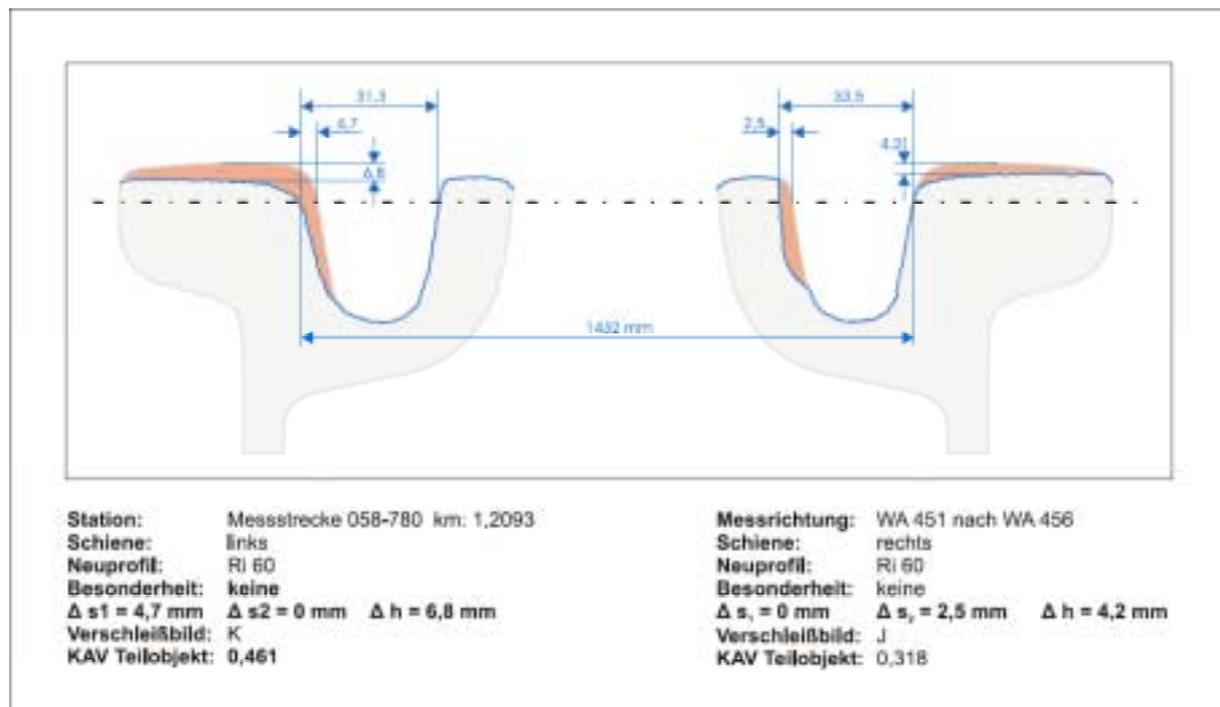


Abbildung 18: Ergebnis des Schienenprofilvergleichs zwischen Ist- und Neuprofil

Das Ergebnis sind Koordinaten, aus denen die Einzelprofile grafisch dargestellt werden. Die Schienenform sollte während der Messung erkannt und mit dem Neuprofil der Schiene in der Nachbearbeitung verglichen werden. Aus dem Vergleich lassen sich die Differenzen zwischen Ist- und Neuprofil errechnen und in Diagrammform, wie Abbildung 17 zeigt, darstellen.

Folgende Möglichkeiten bieten moderne Schienenscanner-Systeme neben der Messung von Rillenweite und Rillentiefe:

- Schienenprofilerkennung und Zuordnung des Sollprofils,
- Vergleich zwischen Ist- und Sollprofil (Verschleiß- und Neuprofil),
- Quantifizierung von Seiten- und Höhenverschleiß,
- Visualisierung von Seiten- und Höhenverschleiß in Ergänzung zur Gleisgeometrie,
- Mehrperiodenvergleich durch überlagerte Verschleißmessergebnisse,
- Klassifizierung typischer Schienenverschleißbilder und Beurteilung deren Konturstabilität,
- Überwachung der Schienenkopfgeometrie, z. B. Kopfeckradius bei Profilmustellungen,

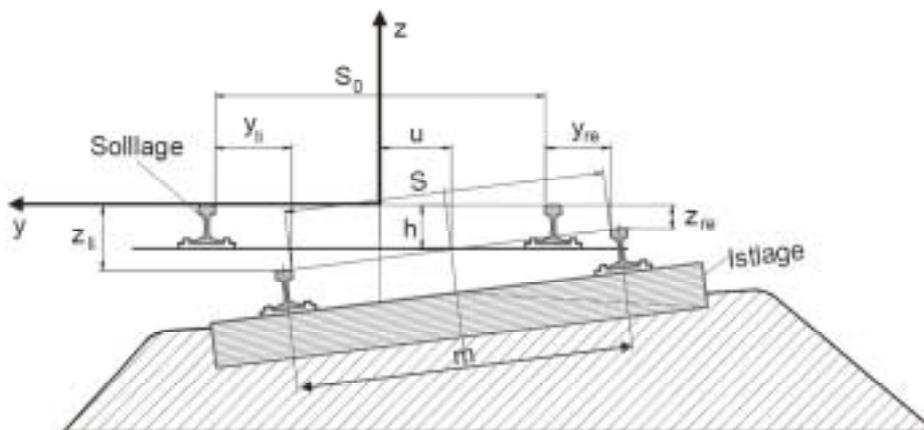


Abbildung 19: Gleislageparameter im Überblick (Quelle: INFIN Schlussbericht)

Spurweite: $S = S_0 + (y_{li} - y_{re})$

Längshöhenlage: $h = (z_{li} + z_{re}) / 2$

Richtungslage: $u = (y_{li} + y_{re}) / 2$

Querrhöhe: $m = (z_{re} - z_{li})$

Die Messergebnisse werden aufgrund ihres Datenvolumens nicht 1:1 zur Weiterverarbeitung an ein IDMVU-konformes Informations- bzw. Instandhaltungsplanungssystem übergeben, sondern in kategorisierter Form, wobei die Kategorien durch die in Kapitel 2.3.2 beschriebene Fehlerklassifizierung gebildet werden. So kann beispielsweise im Fall einer Toleranzverletzung der Spurweite innerhalb eines Streckenabschnitts die jeweils höchste, in diesem Abschnitt aufgetretene Fehlerklasse mit Anfangs- und Endstationierung des Mangels in die Instandhaltungsplanung eingehen.

Ein wesentliches Entscheidungskriterium für die Instandhaltungsplanung ist die Verschleißentwicklung. Um dennoch Zugriff auf sämtliche Messergebnisse zu haben, ist im Entschei-

dungsprozess ein schneller Zugriff auf diese extern vorgehaltenen Messdaten wichtig.

Messwerte Gleis

Sollmaße und Toleranztabelle

Messparameter	Toleranzbereich										Maß- einheit	Hinweise
	Nominal	SR _A		SR ₁₀₀		SR _{lim}		SR _G		SR _G		
Gleis		Td. +	Td. -	Td. +	Tol. -	Td. +	Tol. -	Maximum	Minimum			
Spurweite	x	x	x	x	x	x	x	x	x	mm	(D)BOA und EBO gesetzliche Grenzen	
Überhöhung	x	x	x	x	x	x	x	x	x	mm	Schlvorgaben entsprechend der Trassierung	
Verwindung	x	x	x	x	x	x	x	x	x	mm	Basislänge festlegen (0/∞)	
Rillenweite	x	x	x	x	x	x	x	x	x	mm		
Rillentiefe	x		x		x		x		x	mm		
Leitkantenabstand								x		mm	nur Maximalwert	
Radius	x	x	x	x	x	x	x	x	x	m	Schlvorgaben entsprechend der Trassierung	
Schienenverschleiß ? S1	x	x		x		x		x		mm	Verschleiß an der Fahrkante	
Schienenverschleiß ? S2	x	x		x		x		x		mm	Verschleiß an der Leitchiene (nur bei Rillenschienen)	
Höhenverschleiß ? h	x	x		x		x		x		mm	Höhenverschleiß der Schiene	

 = nicht relevant

Die Gleisvermessung erfolgt kontinuierlich mit einer definierten Tastrate (z.B.: 100 mm)

Abbildung 20: Messparameter von Gleisen und deren 4-stufige Toleranzen (SR_A, SR₁₀₀, SR_{lim} und SR_G).

Neben Messungen und Gleisbegehungen vervollständigen fahrtechnische Inspektionen und Streckenbefahrungen die Zustandsbewertung von Gleisanlagen – insbesondere im Geschwindigkeitsbereich von $V > 160$ km/h. Mit der fahrtechnischen Inspektion wird das Zusammenwirken zwischen Fahrzeug und Fahrbahn hinsichtlich Fahrsicherheit, Fahrbahnbeanspruchung und Fahrverhalten für die örtlich zulässige Geschwindigkeit überprüft (vgl. Ril 821.2002 der DB AG).

Im Zuge der Streckenbefahrung sind aus oberbautechnischer Sicht und aus Sicht des Fahrweges bei Lok- und Schlusswagenfahrten mit zul. Geschwindigkeit auffällige Entwicklungen des Instandhaltungszustands und ungewöhnliche Fahrzeugreaktionen festzustellen (vgl. Ril 821.2004 der DB AG).

4.4 Messwertverdichtung durchführen

Linienelemente wie Gleis-Strecken-Teile werden in der Regel kontinuierlich gemessen. Hinsichtlich ihrer Abtastfrequenzen unterscheiden sich Gleismessgeräte zum Teil erheblich, die Bandbreite reicht von 2 mm bis 500 mm / Messpunkt. Nur Messungen, die mit einem konstanten Abstand von mindestens 0,5 m erfolgen, gelten jedoch als kontinuierliche Messung.¹⁷ Die Abtastung der Gleisgeometriesignale muss von einem wegabhängigen Ereignis angestoßen werden, so dass die Messungen in gleichen Intervallen entlang des Gleises erfolgen können.

Nach der messtechnischen Zustandserfassung und dem ersten Soll-Ist-Vergleich findet in der Regel eine Reduzierung der Messdaten auf einen konstanten Messpunktabstand statt.

¹⁷ Qualität der Gleisgeometrie – Messsysteme – Gleismessfahrzeuge DIN EN 13848-2-2008

Dieser dient neben der Verringerung der Datenmenge dazu, einen einheitlichen und konstanten Detaillierungsgrad vorzuhalten, der die Zustandsentwicklung von Linienelementen im Zeitablauf transparent macht.

Beim Datenexport der vom Messgerät erzeugten primären Messdaten sollte keine Verdichtung von Messwerten erfolgen, sondern die Messwerte sind so auszugeben wie sie gemessen wurden. Die Selektierung der Messwerte zur Begrenzung der Datenmenge erfolgt erst bei der Auswertung - und auch dabei darf nichts berechnet werden sondern jeder einzelne Messwert ist auf Toleranzausfall hin zu prüfen. Jede Form von Mittelwertbildung kann zu verfälschten Ergebnissen führen, da positive und negative Extremwerte einen in der Realität nicht vorhandenen guten Durchschnittswert ergeben können.

Beispielsweise wird bei einer Verdichtung auf 10 % von 10 mm primärer Messwertdichte auf 100 mm nur jeder 10. Messwert übernommen. Auf Toleranzverletzung werden jedoch 100 % der Messwerte hin überprüft und bei Überschreitung einer Toleranzgrenze explizit ausgegeben. Besonderheiten des jeweils gültigen Regelwerks sind zu beachten. Individuell getroffene Festlegungen zur Messpunktverdichtung sollten nachvollziehbar dokumentiert und regelmäßig, spätestens bei Veränderung der verwendeten Messtechnik überprüft werden.

Die Zustandsentwicklung stellt eine besondere Form der Messwertverdichtung dar. Aufgrund der Datenfülle erleichtern hierbei statistische Auswertungen den Überblick und die Trendanalyse. Entwicklungstendenzen lassen sich in Mehrperiodenvergleichen sauber analysieren und darstellen. So eignet sich beispielsweise die Auswertung der Häufigkeit des Auftretens von Messergebnissen an vergleichbaren Messstellen in Weichen und Kreuzungen dazu, im Mehrjahresvergleich Entwicklungstrends zu erkennen.

Abbildung 21 zeigt die überlagerten Messungen aus 2 Inspektionen. Die schwarze Linie stellt den Sollwert an diesem Messpunkt innerhalb von Weichen dar – die farbigen Linien die + und – Toleranz. Der blaue Graph zeigt die Häufigkeit der Messergebnisse im Jahr 2004 – die grüne Linie die des Folgejahres. Es wird deutlich, dass die Mehrzahl der Messergebnisse im Folgejahr zur größeren Spurweite 1440 mm hin tendiert und bereits 30 % der Messwerte außerhalb der zul. SR_{lim} Toleranz liegen.

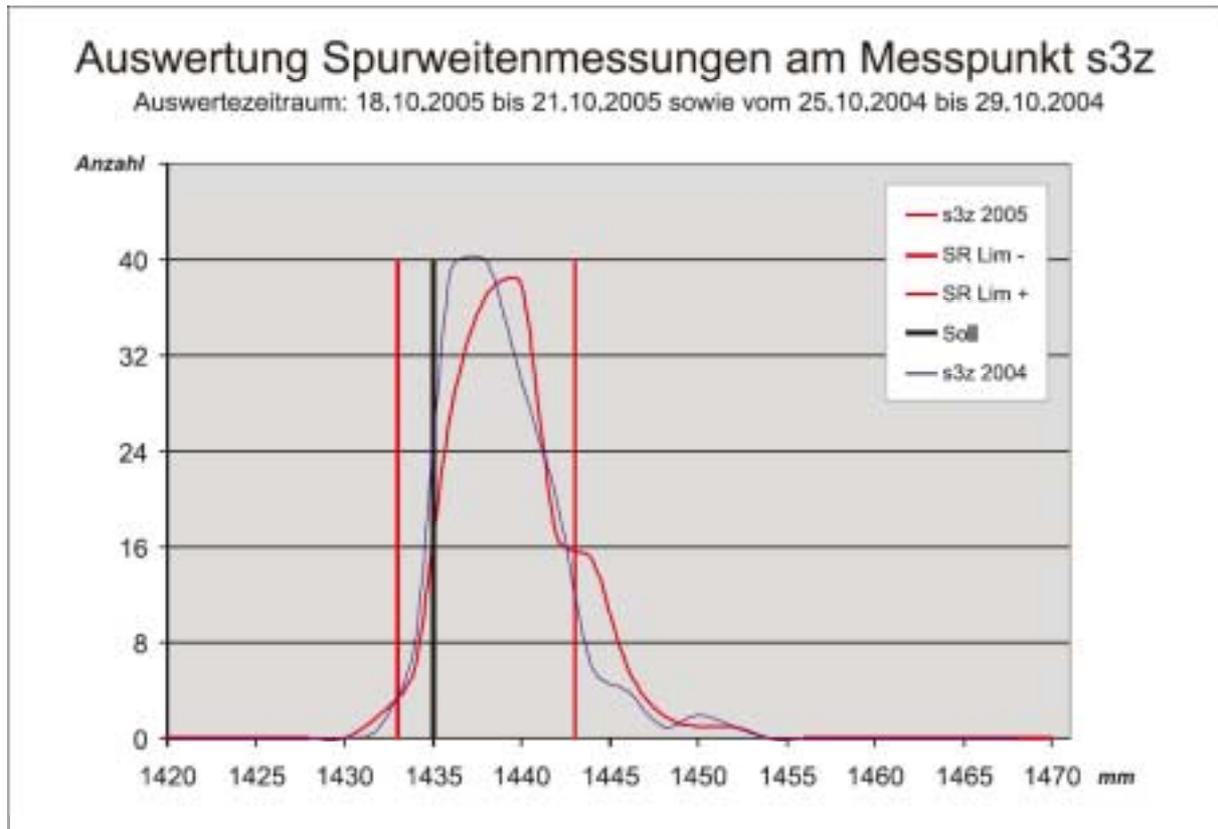


Abbildung 21: Häufigkeitsverteilung von 2 Jahresmessungen aller Weichen am Messpunkt s3z (Spurweite im Zwischenschienenbereich Zweiggleis) mit Sollwert und SRLim Toleranz

4.5 Durchführung der Messwert- und Mangelklassifikation (Fehlerklassen)

Die Gleislagequalität und die Grenzwerte für Einzelfehler sind wichtige Parameter für die Infrastruktur, die im Rahmen der Definition der Schnittstelle Fahrzeug — Gleis benötigt werden. Die Gleislagequalität steht in direktem Zusammenhang mit:

- der Sicherheit gegen Entgleisen
- der Bewertung eines Fahrzeugs bei Abnahmeprüfungen
- der Dauerfestigkeit von Radsätzen und Drehgestellen.

Inspektionen sollen Informationen für die Planung und Steuerung der Instandsetzung bereitstellen. Abweichungen vom technischen Sollzustand werden als Mängel festgestellt. Mangel meint dabei immer die negative Abweichung von einem vereinbarten Soll, während Schaden eine negative Veränderung aufgrund eines Mangels ist. Zur Einschätzung ihrer Wirkung auf die sichere Funktion der Anlage und somit zur Priorisierung ihrer Beseitigung hat sich die Einteilung in 4 Fehlerklassen in der Praxis bisher bewährt.

Die kontinuierliche elektronische Gleismessung erzeugt erhebliche Datenmengen, im Schnitt

fallen pro km Gleis 1 Megabyte an primären Messdaten an. Damit die Fülle der Messdaten nicht unüberschaubar wird, werden diese zu Zustandskategorien zusammengefasst. Die Kategorisierung hilft entscheidend bei der Fokussierung auf das wesentliche.

Damit die Ergebnisse von Messungen (quantitative Prüfungen) gut interpretierbar werden, sind mehrstufige Toleranzen, z.B. SR_A , SR_{100} , SR_{lim} , SR_G zu empfehlen. Diese erlauben differenzierte „Befund-Maßnahme-Frist“ Vorgaben - gegenüber dem K.O.-Kriterium der einstufigen Toleranz. Bei Verletzung einer Toleranzgrenze soll innerhalb einer zwischen Nutzer und Instandhalter vereinbarten Reaktionszeit gehandelt werden (vgl. Abbildung 30).

Die TSI¹⁸ und die DIN EN 13848-5:2008-06¹⁹ definieren dazu ebenfalls:

Soforteingriffsschwelle/Sicherheitsgrenze (Immediate Action Limit — IAL): bezieht sich auf den Wert, bei dessen Überschreitung der Infrastrukturbetreiber Maßnahmen ergreift, um das Risiko von Entgleisungen auf ein annehmbares Maß zu reduzieren. Dies kann erfolgen, indem entweder die Strecke geschlossen, die örtlich zulässige Geschwindigkeit reduziert oder die Gleisgeometrie korrigiert wird.

Eingriffsschwelle/Eingriffsgrenze (Intervention Limit — IL): bezieht sich auf den Wert, bei dessen Überschreitung korrektive Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden müssen, um zu verhindern, dass die Soforteingriffsschwelle vor der nächsten Inspektion erreicht wird. Die Eingriffsgrenze hängt von der richtigen Instandhaltungspolitik, den Inspektionsintervallen und der Fehlerentwicklungsrate ab.

Auslösewert/Aufmerksamkeitsgrenze (Alert Limit — AL): bezieht sich auf den Wert, bei dessen Überschreitung der Zustand der Gleisgeometrie analysiert und im Rahmen der regulär geplanten Instandhaltungsarbeiten berücksichtigt werden muss.

Eine weitere Qualitätsstufe für die Gleisgeometrie kann für die Abnahme von Gleisbauarbeiten benutzt werden, z. B. SR_A .

Zur Bewertung der Messdaten dienen 4 Kategorien (abgestufte Toleranzbereiche):

Messung		DIN EN ¹⁰ /TSI ¹¹	Visuelle Zustandserfassung
a = SR_A	Abnahmetoleranz	optional	Fehlerklasse 4
b = SR_{100}	Wirtschaftliche Toleranz	AL	Fehlerklasse 3
c = SR_{lim}	Sicherheitstoleranz	IL	Fehlerklasse 2
d = SR_G	Grenzwert	IAL	Fehlerklasse 1

¹⁸ TSI = Technische Spezifikationen für die Interoperabilität des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems

¹⁹ DIN EN 13848-5 legt als EU-Norm die Mindestanforderungen für die Qualitätsstufen der Gleisgeometrie fest und definiert Sicherheitsgrenzen.

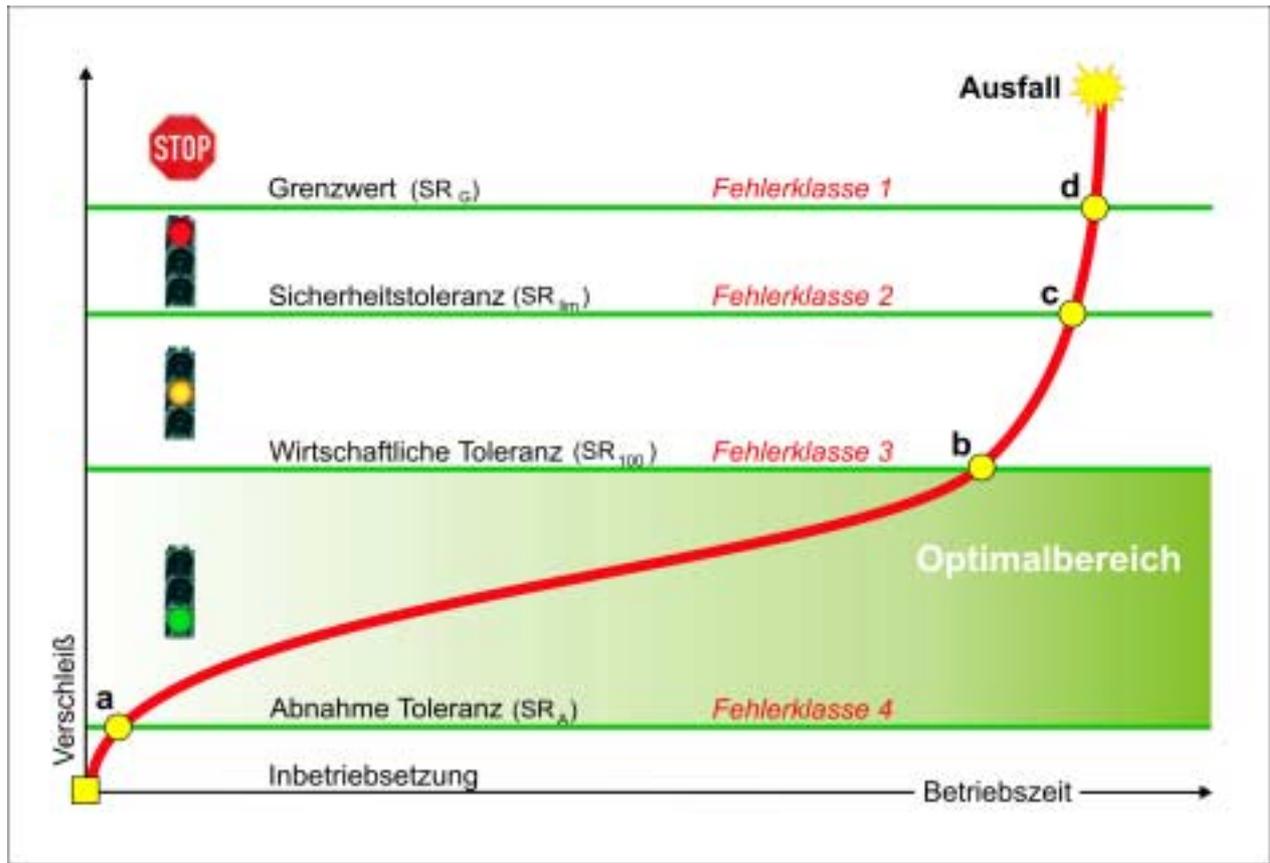


Abbildung 22: Schematischer Verlauf der Verschleißentwicklung mit den Bewertungsgrenzen: Toleranzen und Fehlerklassen

a) Abnahmetoleranz (SR_A)

Abnahmetoleranzen (bei Inbetriebsetzung) dienen zur Überprüfung der Qualität des Herstellers und sind in der Regel vertraglich vereinbart. Sie spielen bei der Instandhaltung eine informelle Rolle.

b) Wirtschaftliche Toleranz (SR_{100})

Dieser Wert stellt die Eingriffsschwelle für eine Instandsetzung dar. Bei Überschreitung der Werte wird eine Instandsetzung spätestens bis zur nächsten Regelinspektion empfohlen. Diese Toleranz stellt eine Frühwarnung dar, bei deren Erreichen die Instandsetzungsmaßnahmen frühzeitig eingeplant und im Rahmen von Regelinstandsetzungen ausgeführt werden können.

Erreichen die Gleisanlagen diese Qualitätsstufe, so kann von einem mittleren Verschleißzustand gesprochen werden. Die Gültigkeit der theoretischen Grundlagen für die optimierte Rad-Schiene-Paarung und Bemessungsprinzipien der Quermaßgeometrie sind vorhanden. Der Aufwand für die Instandsetzung der Gleisanlagen kann relativ gering gehalten werden.

c) Betriebsrelevante Toleranz (SR_{lim})

Bei Überschreitung dieses Wertes sollte die Gleisanlage nicht mehr uneingeschränkt benutzt

werden. Die erforderlichen absichernden Maßnahmen, z. B. Geschwindigkeitsreduzierung ($0,7 \times V_{\max}$), Verdichtung der Kontrollintervalle oder Erweiterung des Prüfumfanges sind vom Betriebsleiter festzulegen.

Kategorie 3 zeichnet sich in der Regel durch einen starken Verschleiß aus. Werden die Verschleißwerte der Qualitätsstufe 3 erreicht, so steigt die Verschleißintensität überproportional an (\rightarrow zusätzliche Verschleißquellen). Verschleißgeschädigte Fahrbahnen regen die Fahrzeuge zu Schwingungen an und führen zu einer nicht zu vernachlässigenden Vergrößerung der statischen Radlasten um einen dynamischen Anteil. Eine Reduzierung der Geschwindigkeit wirkt sich infolge einer Verringerung der dynamischen Belastung deshalb auch auf den Verschleißfortschritt positiv aus – das weitere Anwachsen der Mängel wird verlangsamt.

d) Absolute Verschleißgrenzmaße (SR_G)

Nach der Überschreitung dieses Wertes droht der Funktionsausfall des Anlagenobjekts – es existieren nur noch undefinierte Sicherheitsreserven. Das Erreichen dieser Toleranzschwelle macht Sofortmaßnahmen, Sperrung bzw. die sofortige Instandsetzung der Gleisanlage notwendig. Der Sicherheitsaspekt steht im Vordergrund. Der Aufwand für die Instandsetzung ist extrem hoch.

Um die Ergebnisse von quantitativen Prüfungen interpretieren zu können, sind feste und plausible Kriterien erforderlich. Diese sind von Verkehrsunternehmen im Geltungsbereich der Bau- und Betriebsordnung für Straßenbahnen (BOStrab) selbst zu ermitteln und in Kraft zu setzen. Die BOStrab wird hierbei durch die Technischen Richtlinien Spurführung (TR Sp) ergänzt. Basierend auf der Quermaßstabelle für Gleisanlagen und den fahrzeugspezifischen Betriebsgrenzmaßen sind dazu die Verschleißgrenzmaße von Weichen- und Kreuzungsanlagen vom Betreiber zu erarbeiten und von der Technischen Aufsichtsbehörde zu bestätigen, nach denen sowohl die Fahrsicherheit als auch die Wirtschaftlichkeit der Gleisanlagen gewährleistet ist. In sog. Quermaßstabellen, die Neubaumaße der Quergeometrie in Form von Nominalwerten und Abnahmetoleranzen beinhaltet, werden die für die Instandhaltung des Fahrwegs erforderlichen Bewertungsmaßstäbe von Messergebnissen entwickelt.

Gültigkeitsbereich: Drehgestellfahrzeuge, Achsabstand: 2000 – 6000 mm, Raddurchmesser und Radprofile nach Zeichnungen Gkt 123151 b, Gkt 135043 b, Gkt 131480, Verschleißgrenzmaße nach Z 02.098.4 und Z 02.100.4									Spurweiten-Mess-Ebene	-14 mm
Radius	Spurweite		Rillensbreite		Leitweite	Rillensweite			alle Herztücke in Kreuzungen steiler 1:5,5	max. Leitkantenabstand = SR _G [-]
	Strecke	Weiche	einfache Herztücke von Kreuzungen flacher 1:5,5 und Weichen	Radlenker		doppelte Herztücke flacher 1:5,5 flache Zungen	Knieleerker	Radlenker		
35 ≤ R < 50	1437*	1437*	31	25	1412	43	30	25	28	1385
50 ≤ R	1435	1435	28	23	1412	40	28	23	26	1388
Fertigungs-Toleranzen	+2/-1	+2/-0	+1/-0	+0/-1	+0/-0	+1/-0	+0/-1	+0/-1	+0/-1	
Betriebs- und Verschleißtoleranzen										
SR ₁₀₀ [+]	+ 10	+ 7	+ 6	+ 6	- 3	+ 6	+ 6	+ 6	+ 6	
SR _{lim} [+]	+ 15	+ 11	+ 11	+ 11	-	+ 11	+ 11	+ 11	+ 11	
SR _G [+]	1455	1450	45	45	-	55	45	45	45	
SR _G [-]	1434	1434	21	21	-	21	21	21	21	
Bei Verwendung von Leitvorrichtungen mit 15 mm über GFT ist die Rillensweite um 2 mm zu vergrößern !										

* - nur für Sonderfahrzeuge (Bauzug)

Abbildung 23: Beispiel für eine aktuelle, auf Basis der Technischen Regeln Spurführung (TR Sp) entwickelte Quermaßstabelle mit Sollwerten und 4 Toleranzbereichen SR_A, SR₁₀₀, SR_{lim} und SR_G.

Anwendungsbeispiel Quermaßstabelle²⁰

Einfache Weiche, Rillenkombination Tiefrille – Tiefrille,

Schienenprofil: Ri60N, mittlerer Gleisbogenradius im Herzstückbereich = 100 m.

Sollwerte und Fertigungstoleranzen (SR_A) für die Herstellung

Spurweite: 1435 mm Tol. +2 / -0

Herzstückrillenweite: 28 mm Tol. +1 / 0

Radlenkerrillenweite: 23 mm Tol. +0 / -1

Leitkantenabstand: (1384 mm Tol. +3 / -1)

SR₁₀₀ –Werte

Instandsetzung soll eingeplant werden, wenn **einer der Werte** erreicht oder überschritten wird

Spurweite: 1442 mm

Herzstückrillenweite: 34 mm

Radlenkerrillenweite: 29 mm

Leitweiten: 1409 mm

²⁰ Brackmann, H.;Lutz, V.: „Mehrstufige Betriebstoleranzen als Ergebnis spurführungstechnischer Untersuchung“. Nicht veröffentlicht.

Leitkantenabstand: nicht relevant

SR_{lim} –Werte

Instandsetzung oder absichernde Maßnahmen durchführen, wenn **einer der Werte** erreicht oder überschritten wird.

Spurweite: 1446 mm

Herzstückrillenweite: 39 mm

Radlenkerrillenweite: 34 mm

Leitweite über Herzstück: nicht relevant

Leitkantenabstand: nicht relevant

SR_G – Werte

Sofortige Instandsetzung oder Sperrung, wenn **einer der Werte** erreicht oder überschritten wird.

Spurweite: 1450 mm (Größtmaß) 1434 mm (Kleinstmaß)

Herzstückrillenweite: 45 mm (Größtmaß) 21 mm (Kleinstmaß)

Radlenkerrillenweite: 45 mm 21 mm (Kleinstmaß)

Leitweite über Herzstück: nicht relevant

Leitkantenabstand: 1388 mm (Größtmaß)

Analog zur Klassifizierung von Messergebnissen werden auch die Ergebnisse der visuellen Zustandserfassung klassifiziert.

Zur Interpretation und Bewertung im Hinblick auf ihren Einfluss auf die Sicherheit, hat sich ebenfalls die Verwendung von 4 Fehlerklassen, analog zum SR-Schema der Toleranzgrenzen bewährt. Auch diese qualitativen Fehlerklassen lassen sich mit vereinbarten Maßnahmen und Reaktionszeiten unterlegen. Die Einstufung der Fehler in definierte Fehlerklassen erfolgt in der Regel empirisch.

Auf der Basis eines Mangelkatalogs (Fehlerklassenkatalog) werden dazu die in Frage kommenden Mängel gelistet, mit Bedingungen verfeinert und nach ihrer Sicherheitsrelevanz bewertet. Die Einteilung nach Fehlerarten erleichtert weitere statistische Auswertungen. Detaillierte Mangelbeschreibungen und Fotos verdeutlichen dabei Fehlerklassengrenzen und erleichtern die eindeutige Kategorisierung.

Die so entstandene Fehlerklassenliste wird mit Standard-Instandsetzungsmaßnahmen unteretzt, d.h. jedem Mangelcode werden ein oder mehrere geeignete Instandsetzungsverfahren und -wege in kodierter Form zugeordnet, die Instandsetzungs-codes. Die Systematik der Sichtprüfung am Beispiel einer Weichenprüfung:

- Prüfpunkt *(Anlage Weichenzungenspitze an der Backenschiene)*

- Lage (linke Zunge)
- Mangelcode (klafft)
- Bedingung (5-6 mm)
- Quantität (1 Stck)
- Fehlerklasse (FK 4)
- Instandsetzungscode (Zunge durch Verschlussbearbeitung z. Anlage bringen)
- Betriebsgefahr (ja)

4.6 Zusammenführen der Ergebnisse der Hauptprüfung – bestehend aus Messungen und visuellen Zustandsprüfungen

In einem der Zustandserfassung und Zustandsbewertung nachgeordneten Bearbeitungsschritt werden die klassifizierten Ergebnisse aus Messung und visueller Prüfung zu einem zusammenfassenden Inspektionsbericht (Gleis- und Weichendokumentation) jedes Gleis-Strecken-Teils und jedes IDM-Objekts zusammengeführt (siehe dazu Kapitel 3 und die Beispiele Abbildung 9 und Abbildung 10). Darüber hinaus bieten sich Sammelauswertungen aller inspizierten Gleise und Weichen an, die sämtliche kategorisierten Mängel und Maßnahmen in einer Tabelle vereinen und der weiteren Auswertung, Filterung und Sortierung dienen.

Sammelauswertung Weicheninspektion									
Weiche Nr	Anlagenklasse	Pruefart	Lage	Mangel	Fehlerklasse	Instandsetzung	Umfang	MEH	
3118	1	Schweißstöße	Zungenwurzel L	Schweißstoß angerissen	1	Schweißstoß schweißtechnisch instandsetzen			
3118	1	Spurweiten	S3Z	Spurverengung SRG	1	Spurkorrektur schleiftechnisch			
3122	1	Herzstück	Herzstückspitze	angerissen	1	Herzstück schweißtechnisch instandsetzen			
3125	1	Schiene	Zunge R	Zunge angerissen	1	Zunge erneuern			
3126	1	Leitkantenabstand	LKZ	Leitkantenabstand zu groß	1	Rillenweiten schleiftechnisch instandsetzen			
3101	1	Durchfahrrielen	D, Dz	Durchfahrrielen zu klein	2	Zunge(n) mechanisch richten			
3102	1	Rillentiefen	TR2K	Rillentiefe zu groß	2	Rillentiefe schweißtechnisch instandsetzen			
3108	1	Durchfahrrielen	D, Dz	Durchfahrrielen zu klein	2	Zunge(n) mechanisch richten			
3111	1	Rillentiefen	TH	Rillentiefe zu groß	2	Rillentiefe schweißtechnisch instandsetzen			
3112	1	Durchfahrrielen	D, Dz	Durchfahrrielen zu klein	2	Zunge(n) mechanisch richten			
3114	1	Durchfahrrielen	Dz	Durchfahrrielen zu klein	2	Zunge(n) mechanisch richten			
3115	1	Durchfahrrielen	D, Dz	Durchfahrrielen zu klein	2	Zunge(n) mechanisch richten			
3115	1	Schweißstöße	Zungenverrichtungsende L	Schweißstoß angerissen	2	Schweißstoß schweißtechnisch instandsetzen	1 Stück		
3117	1	Durchfahrrielen	Dz	Durchfahrrielen zu klein	2	Zunge(n) mechanisch richten			
3118	1	Schiene	Doppelschiene Mittelteil L, R	(Spurkranz fährt am Rillenboden)	2	Schiene erneuern			
3118	1	Rillentiefen	TR3	Rillentiefe zu groß	2	Rillentiefe schweißtechnisch instandsetzen			
3118	1	Rillenweiten	WHZ	Rillenverengung SR Lim	2	Herzstückrielen schleiftechnisch instandsetzen			
3119	1	Durchfahrrielen	DZ	Durchfahrrielen zu klein	2	Zunge(n) mechanisch richten			
3119	1	Umstellvorrichtung	vor Kreuzung Signalkasten	Deckelschrauben lose	2	Deckelschrauben befestigen	6 Stück		
3119	1	Schiene	Zungenspitze R	kleiner Ausbruch	2	Zungenspitze schleiftechnisch instandsetzen			
3119	1	Spurweiten	S1	Spurverengung SR Lim	2	Spurkorrektur schleiftechnisch			
3120	1	Durchfahrrielen	DZ	Durchfahrrielen zu klein	2	Zunge(n) mechanisch richten			
3120	1	Schiene	Zungenspitze R	kleiner Ausbruch	2	Zungenspitze schleiftechnisch instandsetzen			
3122	1	Schiene	vor Kreuzung links	Ausbruch	2	Schiene(n) schweißtechnisch instandsetzen	60 mm		
3122	1	Durchfahrrielen	DZ	Durchfahrrielen zu klein	2	Zunge(n) mechanisch richten			
3122	1	Rillentiefen	TR3	Rillentiefe zu groß	2	Rillentiefe schweißtechnisch instandsetzen			

Abbildung 24: Beispiel für Sammelauswertung mit zusammengefassten Ergebnissen einer Weicheninspektion bestehend aus Messungen und Sichtprüfungsergebnissen

4.6.1 Abnutzungsvorrat (Anlagensubstanz)

Neben den Klassifizierungsverfahren Anlagen- und Fehlerklassen, bietet sich eine praktikable Kenngröße als Qualitätsmaßstab an: der technische Abnutzungsvorrat, nach DIN 31 051 als „Vorrat der möglichen Funktionserfüllungen unter festgelegten Bedingungen, der einer Betrachtungseinheit aufgrund Herstellung, Instandsetzung oder Verbesserung innewohnt“²¹.

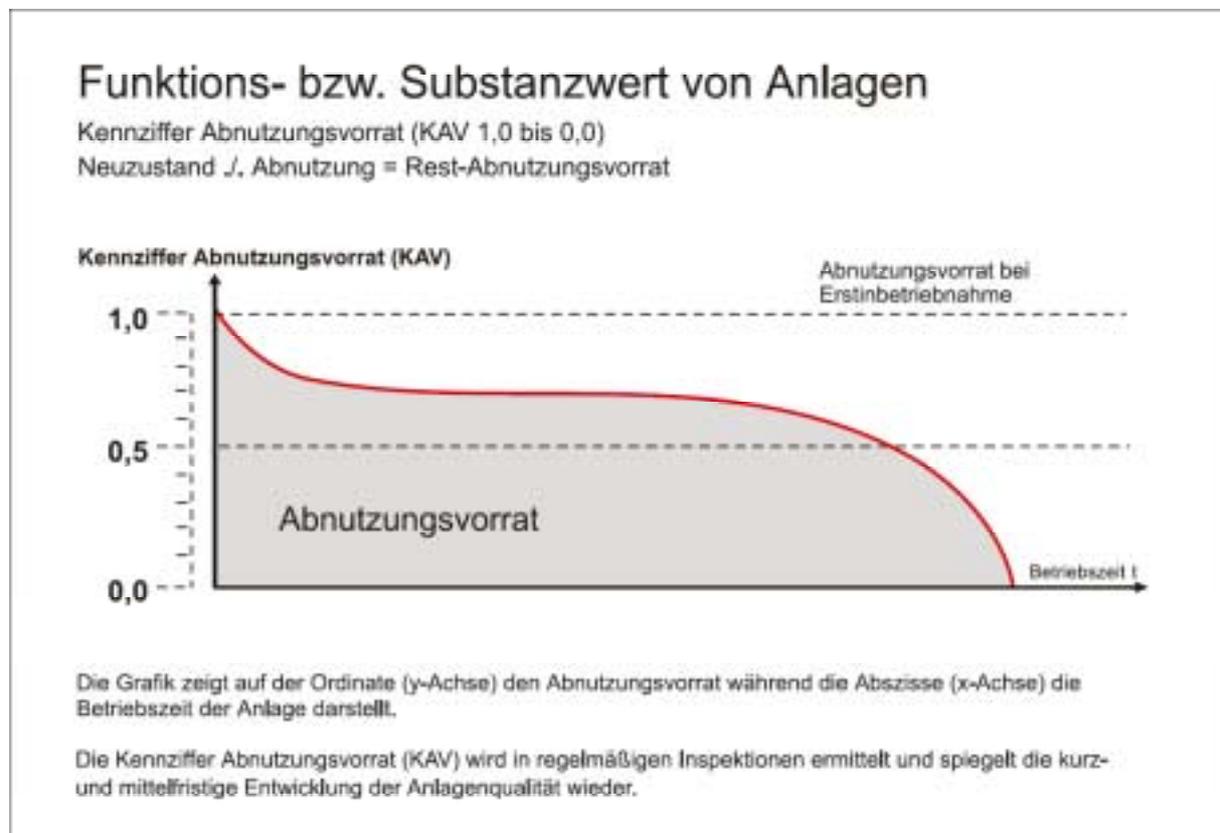


Abbildung 25: Typischer Entwicklungsverlauf des Abnutzungsvorrats – ohne Intervention - mit dem Maßstab Kennziffer Abnutzungsvorrat KAV® (0,0 ... 1,0)

Zur Messung des Abnutzungsvorrats von Gleisen und Weichen wurde eine empirische Methode entwickelt, die sog. Kennziffer Abnutzungsvorrat (KAV)²². Diese bewertet den aktuellen qualitativen Zustand einzelner Anlagenobjekte im Hinblick auf ihren restlichen Funktionsvorrat bzw. Substanzwert in einer Kennziffer. Über die Längenproportion lassen sich die Einzelergebnisse bis hin zu einer Kennziffer für die Gesamtheit aller Gleisanlagen verdichten. Kurz und prägnant – in einer einzigen Zahl.

Der Abnutzungsvorrat eines Anlagenobjekts lässt sich als eine technische Kennziffer bewerten und stellt - gemessen an den wichtigsten Anlagenelementen - den Verschleißzustand auf einer Skala von 1,0 bis 0,0 (100 % bis 0 % Substanz) dar. Grundlage der Ermittlung der Kennziffer sind regelmäßig durchgeführte Inspektionen unter Beachtung der jeweiligen

²¹ DIN EN 13306 (DIN 31 051): Begriffe der Instandhaltung.

²² Haaß, M.; Marx, A., Rolle, K.: Kennziffer Abnutzungsvorrat (KAV) – Empirisches Verfahren zur Zu-

maßgebenden Bedingungen des Bahnbetriebes. Diese Bedingungen können von Betrieb zu Betrieb stark differieren, getroffene Annahmen darüber, wie einzelne Oberbauelemente in die Berechnung des KAV® eingehen, müssen daher individuell angepasst und dokumentiert werden, damit eine spätere Verifizierung möglich ist.

Die auf empirischen Grundlagen entwickelte Bewertung kann nicht nur auf Gleise und Weichen, sondern auch für alle übrigen Infrastrukturobjektarten und Gewerke angewandt werden.

Die Verwendung digitaler Zustandserfassungssysteme für die visuelle Prüfung ist zur Sicherstellung der Reproduzierbarkeit der Substanzbewertung unumgänglich, um den Prozess der Zustandserfassung durch einheitliche Beurteilungsmaßstäbe und Messmethoden durchgehend zu unterstützen.

Durch Erweiterung des Fehlerklassenkatalogs (FK) um das Abnutzungsäquivalent (AÄ), das die Auswirkungen der jeweiligen Mängel auf den Abnutzungsvorrat der Anlage widerspiegelt, wird die Basis für die Ermittlung des Rest-Abnutzungsvorrats (Kennziffer Abnutzungsvorrat KAV) geschaffen. Für jedes Element kann der Abnutzungsvorrat bestimmt und mittels Schnittstellenstandard des IDMVU zur Weiterverwendung an ein Informations- oder Instandhaltungsplanungssystem übertragen werden.

Die Kennziffer Abnutzungsvorrat (KAV®) wird u.a. zur Bestimmung des optimalen Erneuerungszeitpunktes und zur Feinjustage der Nutzungsdauerannahmen im Rahmen des Nutzungsdauermanagements verwendet. Definierte Untergrenzen des Abnutzungsvorrats lassen sich auch belastungsabhängig nach Anlagenklassen differenziert festlegen und bieten damit eine weitere messbare Zielgröße für eine zielorientierte Instandhaltung.

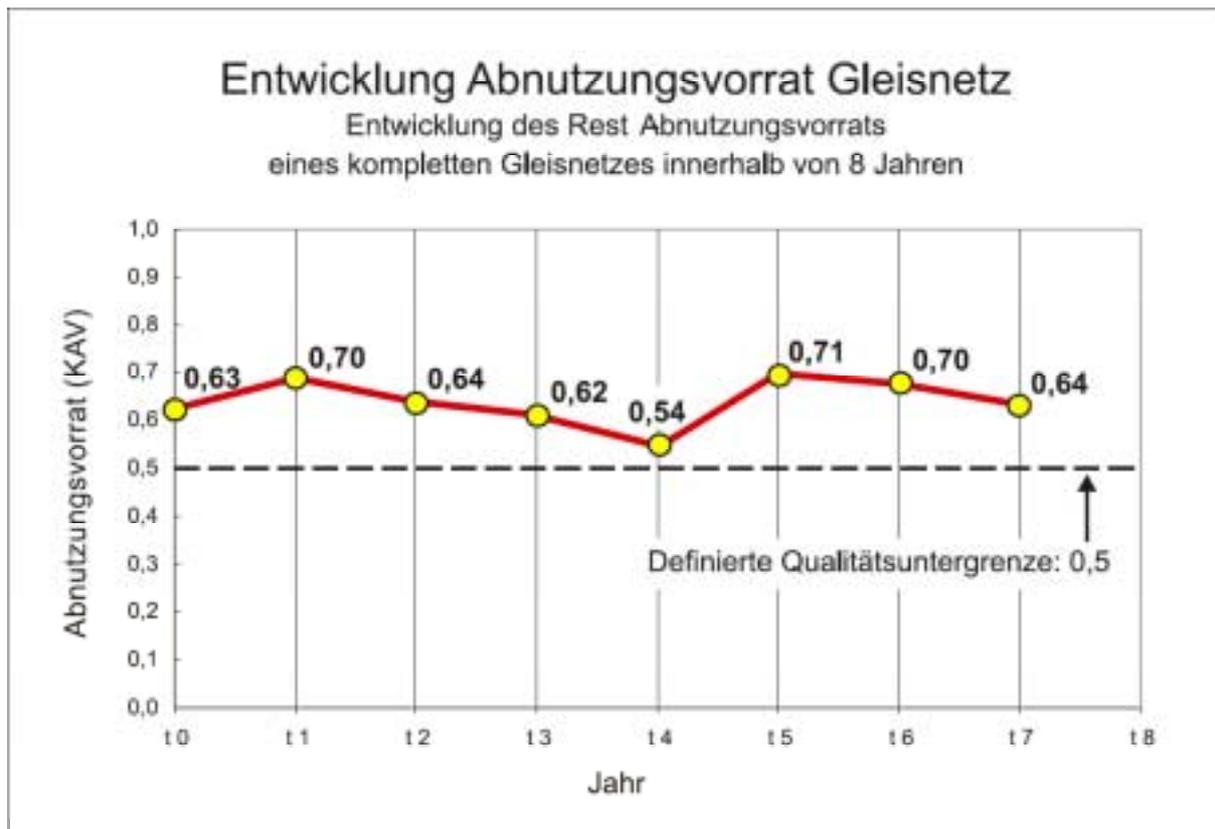


Abbildung 26: Kennziffer Abnutzungsvorrat als langfristiges Steuerungs- und Kontrollinstrument der Infrastrukturinstandhaltung

4.6.2 Nutzungsdauermanagement

Die Restnutzungsdauer ist von erheblicher Bedeutung für die Bestimmung des optimalen Erneuerungszeitpunkts von Anlagen. Die wirtschaftliche Lebenserwartung von Gleisanlagen ist im Wesentlichen von Belastung, Bauform, Anfangsqualität und Instandhaltbarkeit abhängig.

Um Aussagen über die Substanzbewertung und die Restnutzungsdauer treffen zu können und um neue Oberbaukonstruktionen dem prognostizierten Verkehr anzupassen, ist eine genaue Kenntnis der durch den Verkehr ins Gleis eingeleiteten Lasten erforderlich.

Die Nutzungsdauer (ND) der Anlagenobjekte sollte deshalb auch den Betrachtungshorizont der Planung bestimmen. Die langfristige Instandhaltungsplanung für Gleisanlagen sollte deshalb einen Zeitraum von mindestens 20 Jahren abdecken.

Als Nutzungsdauer wird im Steuerrecht und in der Betriebswirtschaftslehre der Zeitraum bezeichnet, über den ein Wirtschaftsgut betrieblich genutzt werden kann. Es wird unterschieden zwischen:

- geschätzter Nutzungsdauer; hierunter versteht man die geplante Dauer der Nutzung eines Anlagegutes in einem Betrieb. Diese ist die Basis für die reguläre Abschreibung des Wirtschaftsgutes. Steuerlich ausschlaggebend sind so genannten AfA-

Tabellen, in denen die Finanzverwaltung die betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer verbindlich festlegt.

- tatsächlicher Nutzungsdauer, die erst nach Beendigung des Nutzungsvorgangs definitiv feststehen kann.
- technischer Nutzungsdauer (engl.: physical life), die den Zeitraum von der Inbetriebnahme bis zum technisch notwendigen Abbruch der Nutzung beschreibt – und eine Instandsetzung technisch unmöglich ist (technischer Totalschaden).
- wirtschaftlicher Nutzungsdauer (engl.: economic life), Zeitraum von der Inbetriebnahme bis zum ökonomischen Abbruch der Nutzung, weil der Ersatz durch eine neue Einheit kostengünstiger als der Weiterbetrieb ist (wirtschaftlicher Totalschaden).

Die Einschätzung der Nutzungsdauer ist in der Praxis oft von bilanz- und steuerrechtlichen Aspekten geprägt. Eine möglichst zuverlässige Ermittlung der Restnutzungsdauer ist für den Planungsprozess aber wichtig. Dies kann durch sachverständige Einschätzung oder statistische Auswertung des Alterungsprozesses erfolgen – wobei hierbei Informationen zur Zustandsentwicklung von ausschlaggebender Bedeutung sind.

Sowohl die Altersstruktur als auch das Durchschnittsalter der Anlagenobjekte können als Indikator für die Bewertung von Investitionen verwendet werden.

Da die wirtschaftliche Nutzungsdauer der Gleisinfrastruktur mit der Verkehrsbelastung der Anlagen korreliert, ist eine Berücksichtigung der Belastung zur näherungsweise Ermittlung der tatsächlichen Nutzungsdauer sinnvoll²³. Die oben beschriebene Anlagenklassifizierung (ABC-Analyse) orientiert sich primär an der Verkehrsbelastung, sie eignet sich deshalb auch hier gut als Differenzierungskriterium.

Nachfolgend ein Beispiel für die angenommene mittlere wirtschaftliche Nutzungsdauer für Gleisanlagen unter Berücksichtigung von Belastungseinflüssen.

Der dargestellte Mix entspricht einer durchschnittlichen Lebenserwartung aller Anlagenklassen von 30 Jahren. Diese Größenordnung wird zumeist auch in der betrieblichen Abschreibungspraxis angewandt - die aktuelle AfA Tabelle gibt eine betrieblichgewöhnliche Nutzungsdauer von 33 Jahren für Gleisanlagen, Weichen und Signalanlagen vor²⁴.

Wechselnde Nutzungsarten und Intensitäten erhöhen die Unsicherheit bei der Festlegung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer. Eine Verfeinerung dieser Annahmen durch Berücksichtigung weiterer Einflussfaktoren, wie Bauform, Einbauqualität, Fahrgeschwindigkeit, Topographie, Untergrundverhältnisse etc. ist dann sinnvoll, wenn diese erfahrungsgemäß zu deutlichen Abweichungen von der belastungsabhängigen Nutzungsdauervorhersage führen.

²³ Beer, M.; Scholtz-Knobloch, O.; Sikora, D.: Infrastrukturmanagement – Fit für den Wettbewerb. Verkehr + Technik, Heft 10.2006

²⁴ Bundesministerium der Finanzen: AfA-Tabelle für die allgemein verwendbaren Anlagegüter, 15.12.2000

The left screenshot shows the 'Herstellungsdaten' form with the following fields:

- Hersteller: Schreck-Mieves GmbH
- Einbaudatum: 02.11.2000
- Einbaufirma: Schreck-Mieves GmbH
- Dauer Gewährleistung: 5 Jahre
- Ablauf Gewährleistung: 02.11.2005
- geplante Nutzungsdauer: 25 Jahre** (highlighted in red)
- vorauss. Erneuerung: 2025
- Lageplan Nr.: 572-159-0014
- Verlegeplan Nr.: 571-159-0036

The right screenshot shows the 'Update Nutzungsdauer' dialog with the following fields:

- geplante Nutzungsdauer: [] Jahre
- vorauss. Erneuerung: []
- Begründung: []

The history table in the right screenshot is as follows:

UpdateNutzungsdauer	UpdateErneuerungsjahr	UpdateGrund	User	Status
25	2025		Rainer	05.11.2008 08:34:59

Abbildung 27: Angenommene Nutzungsdauer für 1 Objekt der Anlagenklasse A (25 Jahre)

Liegen Erkenntnisse aus der Zustandsbeurteilung aus aktuellen Inspektionen oder Erkenntnisse zur Entwicklung des Abnutzungsvorrats KAV® vor, dass die angenommene Nutzungsdauer nicht erreicht wird, wird die ND neu berechnet und dies entsprechend dokumentiert.

Neben Herstell- oder Einbaujahr, sind die angenommene Nutzungsdauer, die Anlagenklasse und die Abnutzungskennziffer (KAV®) Bestandteil des IDMVU-Modells, sowohl für IDM-Objekte (Weichen) und Gleis-Strecken-Teile (Gleise) als auch referenzierbare Teilbereiche von Gleisen.

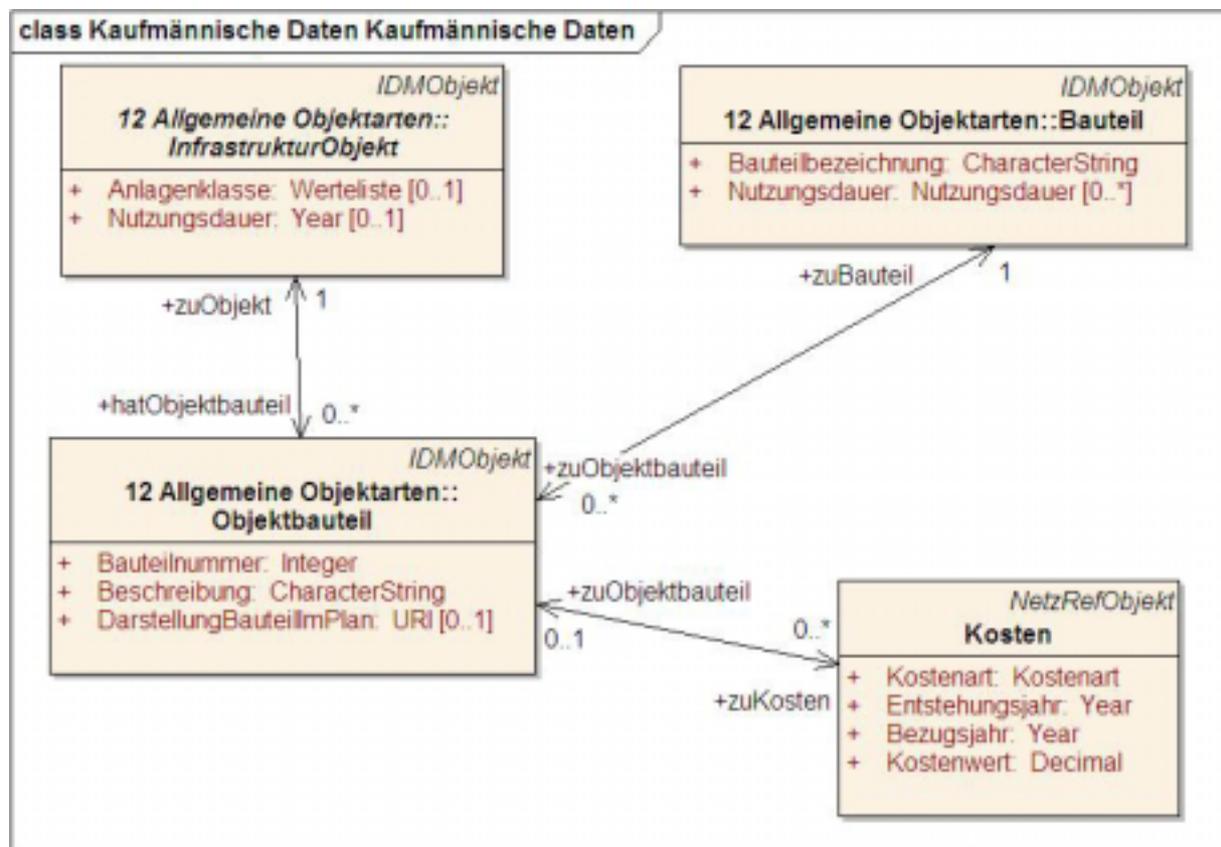


Abbildung 28: UML-Diagramm der kaufmännischen Daten für IDM Objekte.

Die TOP-Ebene Kaufmännische Daten enthält neben der Objektart Kosten auch die Nutzungsdauer. Im IDMVU-Datenmodell kann die Nutzungsdauer den allgemeinen Objektarten Bauteil und Infrastrukturobjekt als Attribut zugeordnet werden (TOP Ebene >12_Allgemeine Objektarten_Bauteil> bzw. <..._InfrastrukturObjekt>). Die Objektart Infrastruktur enthält neben der Nutzungsdauer auch die Anlagenklasse, so dass eine unmittelbare Abhängigkeit zwischen betrieblicher Belastung (Anlagenklasse) und der erwarteten wirtschaftlichen Nutzungsdauer hergestellt werden kann. TOP Ebene Zustandsdaten enthält die Objektart <13_Zustandsdaten_AngenommeneNutzungsdauer>, mit der einem Teil des Netzes (Infrastrukturobjekt) sowie einem allgemeinen (Nicht-Infrastruktur-)Objekt (*NetzRefObjekt*) angenommene Nutzungsdauern zugeordnet werden können.

Bei der Entscheidung zur Fehlerbeseitigung oder Ersatz bzw. Umbau von Gleis-Strecken-Teilen oder Objekten (sog. Grundinstandsetzungsmaßnahmen) hilft eine anlagenbezogene Auswertung sämtlicher dokumentierten Mängel. Eine Bewertung der Instandsetzungsmaßnahmen mit Leistungspreisen unterstützt dabei den Entscheidungsprozess: Übersteigen die Instandsetzungskosten die Kosten einer Erneuerung, ist ein Ersatz oder Umbau der Anlage wirtschaftlicher. Sind die Kostenrelationen nicht ganz so deutlich, erhält der Instandhaltungsverantwortliche wertvolle Entscheidungshilfe aus der Kenntnis der Zustandsentwicklung, der Schwachstellenanalyse und der Bewertung des aktuellen Abnutzungsvorrats.

Für Anlagen, die nicht grundinstandgesetzt werden, erarbeitet der Fachmann aus der Vielzahl von Einzelmaßnahmen aus den Sammelauswertungen sinnvolle Leistungspakete, die eine konzentrierte Abarbeitung in sinnvollen Losgrößen erlauben. Berücksichtigt die Projektbildung bereits Grundaspekte der Arbeitsvorbereitung, kann dieser Prozessschritt durch optimierte Vorgaben zu Ausführungszeiträumen und Maßnahmenreihung aktiv dazu beitragen, wertvolle Ressourcen zu schonen.

Die Auswertung bietet zudem Gelegenheit, die Instandhaltungsstrategie für einzelne Anlagen oder Anlagenelemente, wie beispielsweise Zungenvorrichtungen von Weichen, zu überprüfen, um den Strategie-Mix aus zustandsabhängiger und präventiver Instandhaltung zu optimieren.

Zusammenfassung aufgrund Gleisinspektion 2008								
Projekt Nr.	Gleis o. Verb. Nr.	Anlagen Fehler Klasse	Mess Klasse	Maßnahmen Nr.	Begründung der Maßnahme	Ausführung zeit	durch	erledigt am:
PN5	11	A	2, 3, 4	14	große Instandhaltungsmaßnahme	wirtschaftliche Schäden u. vorbeugenden Maßnah.	bis 04.2009	Kol. nein
PN4	10	A	2, 3	15	große Instandhaltungsmaßnahme	Unfallgefahr für Dritte, wirtschaftliche Schäden	bis 04.2008	Kol. nein
	4	A	4	17	Entgratungsarbeiten	Gratbildung	bis 04.2009	WD nein
	1 u. 6	A	4	18	DUA- und Entgratungsarbeiten	Gratbildung und vorbeugenden Maßnahmen	bis 04.2009	WD nein
PN 105	5	A	3	19	Schleifarbeiten	vorbeugende Maßnahme	bis 04.2009	WD nein
	5	A	4	19	Entgratungsarbeiten	Gratbildung	bis 04.2009	WD nein
PN6	5	A	2	20	Auffälligkeiten neuern	wirtschaftliche Schäden	bis 04.2008	WD nein
PN6	5	A	3	20	Schienenerneuerung	wirtschaftliche Schäden	bis 04.2008	Kol. nein
	5	A	3	20	BU - sanierungen (unter Vorbehalt)	Oberflächen defekt	bis 04.2009	Kol. nein
	5	A	3	21	BU - sanierungen (unter Vorbehalt)	Oberflächen defekt	bis 04.2009	Kol. nein
	5	A	4	21	Entgratungsarbeiten	Gratbildung	bis 04.2009	WD nein
PN5	9	B	2	24	2x3m Paßschienen einbauen	wirtschaftliche Schäden	bis 10.2008	WD nein
	8	A	4	26	Entgratungsarbeiten	Gratbildung	bis 04.2009	WD nein
PN4	1	A	2, 3, 4	27	hw. Schwellenwechsel u. DUA - arbeiten	vorbeugende Maßnahme	bis 04.2010	Kol. nein
PN4	2, 2a	A	3, 4	28	Schienen- Schwellenkleineisen DUA	vorbeugende Maßnahme	bis 04.2010	Kol. nein
PN4	15	B	2	29	Prellblock vorziehen	Bremsweg herstellen	bis 04.2009	WD nein
PN4	15	B	2, 3	29	Einzelwellen und punktuelle DUA	kein Handlungsbedarf beobachten	bis 10.2011	WD nein
PN4	3 u. 15	A	4	30	Entgratungsarbeiten	Gratbildung	bis 04.2009	WD nein
	13	A	2	31	Sanierung Gleislaße (unter Vorbehalt)	vorbeugende Maßnahme	bis 04.2010	Kol. nein
PN4	13	A	4	31	Entgratungsarbeiten	Gratbildung	bis 04.2009	WD nein
PN4	17	A	4	32	Schienenkleineisen - DUA	vorbeugende Maßnahme	bis 04.2009	WD nein
PN4	14	B	2, 3	33	Einzelwellen und Sh0 Scheibe richten	kein Handlungsbedarf beobachten	bis 10.2010	WD nein
PN4	14	B	4	33	Schienenkleineisen - DUA, Entgratungsarb.	vorbeugende Maßnahme, Gratbildung	bis 10.2010	WD nein
PN4	14	A	4	34	Schienenkleineisen - DUA, Entgratungsarb.	vorbeugende Maßnahme, Gratbildung	bis 04.2010	WD nein
PN4	3	B	2	35	Prellblock vorziehen	Bremsweg herstellen	bis 04.2009	WD nein
PN4	3	B	3	35	Einzelwellen und punktuelle DUA	kein Handlungsbedarf beobachten	bis 10.2010	WD nein
PN4	3	B	4	35	Schienenkleineisen - DUA, Entgratungsarb.	vorbeugende Maßnahme, Gratbildung	bis 10.2009	WD nein
PN4	2a	A	4	36	Schienenkleineisen - DUA, Entgratungsarb.	vorbeugende Maßnahme, Gratbildung	bis 10.2009	WD nein

Abbildung 29: Aus der Sammelauswertung erstellt der Anlagenmanager eine verdichtete Maßnahmenübersicht – mit zu Paketen zusammengefassten Instandsetzungsmaßnahmen und der Ausführungsreihenfolge

4.7 Sofortmaßnahmen einleiten

Eingangsgrößen der Maßnahmenplanung sind die mittels Fehlerklassifizierung nach ihrer Sicherheitsrelevanz und Dringlichkeit priorisierten Mängel. In Kombination mit der Bedeutung der Anlagenobjekte (Anlagenklasse) ergibt sich daraus eine Entscheidungsmatrix anhand derer der Instandhalter den Ausführungszeitraum aufgrund von (idealerweise) vereinbarten Reaktionszeiten periodengerecht disponieren und die Reihenfolge der Instandsetzungsmaßnahmen eindeutig und nachvollziehbar bestimmen kann. Die im Vorfeld zwischen Anlageneigentümer bzw. Verkehrsdienstleister und Instandhalter getroffenen Qualitäts- und Zielvereinbarungen vereinfachen die Kommunikation und Entscheidungsfindung und machen darüber hinaus Einzelfalldiskussionen überflüssig.

Der Anlageneigentümer bzw. Betreiber (Besteller) benötigt strategische Instrumente für eine erfolgreiche Delegation (i.S.v. Beauftragung) von Instandhaltungsverantwortung. Für den Instandhalter (Ersteller) wiederum sind eindeutige und verlässliche Zielvorgaben die Basis für erfolgreiches Arbeiten. Zielvereinbarungen sind verbindliche Absprachen zwischen zwei Ebenen für einen festgelegten Zeitraum über die zu erbringenden Leistungen, deren Qualität und Menge, das hierzu erforderliche Budget bzw. die zur Verfügung stehenden Ressourcen sowie über Art und Inhalt des Informationsaustausches²⁵. Führen mit Zielen ist die effektivste Methode zur Steuerung und Unterstützung der im Instandhaltungsprozess Beteiligten. Ziele unterscheiden sich von Maßnahmen durch drei Eigenschaften. Sie müssen konkret

²⁵ Praxisempfehlungen zu Zielvereinbarungen des BMI, Januar 2001.

messbar, erreichbar und überprüfbar sein.

Darüber hinaus ist damit die Festlegung einer einheitlichen Begriffswelt verbunden – um
Zeiträume zur Mängelbeseitigung in Monaten

Abgestimmt zwischen Verkehrsbetrieb und Instandhaltung am:

Fehlerkategorie	Fehlerbeschreibung	Maßnahme	Gleis			Weiche		
			Anlagenklasse			Anlagenklasse		
			A	B	C	A	B	C
4	SR _G Grenzwert, Betriebsgefahr	Sofortige Instandsetzung bz w. Sicherungsmaßnahme oder Sperrung	1	2	2	1	1	1
3	SR _{lim} Sicherheitstoleranz, zu beseitigende Mängel zur Vermeidung von Betriebsgefahren und/oder wirtschaftlichen Schäden	Einrichtung Langsamfahrstelle (0,7 x V _{max})	3	3	6	3	3	6
2	SR ₁₀₀ Wirtschaftliche Toleranz, zu beseitigende Mängel zur Verlängerung der wirtsch. Nutzungsdauer	Ausführung in Regelinstandsetzungszeitraum	12	24	36	12	24	36
1	SR _A Abnahmetoleranz, Abweichung vom Sollzustand	kein Handlungsbedarf						

5 kein Mangel

Abbildung 30: Beispiel einer Zielvereinbarung: Fristen zur Beseitigung priorisierter Mängel (FK 1 bis 4) in Abhängigkeit ihres Auftretens in den Anlagenklassen (AK A-B-C) von Weichen und Gleisen

Sofortmaßnahmen zur Wahrung oder Wiederherstellung der Betriebssicherheit und Funktion der Anlagen haben höchste Priorität und werden noch vor dem IH-Planungsprozess der Maßnahmen angestoßen. Die Identifizierung erfolgt auch hier anhand der Mängelpriorisierung (SR_G) und der vereinbarten Reaktionszeit gemäß Zielvereinbarung. Sofortmaßnahmen werden auch als ungeplante oder nicht planbare Instandhaltung bezeichnet. Aufgrund ihres sofortigen Handlungsbedarfs werden Mängel der Kategorie SR_G häufig bereits während der Inspektion gemeldet und im Rahmen einer Sofortmaßnahme instandgesetzt, damit keine Sperrung der Anlage notwendig wird. Auch die Mängel, die im Zusammenhang mit der Zustandserfassung beseitigt werden, sollten dokumentiert werden, damit diese wichtigen Informationen für Schwachstellenanalysen und der Zustandsentwicklung von Anlagen zur Verfügung stehen.

4.8 Kurz-, mittel- und langfristige Maßnahmen planen

Die planbare Instandhaltung umfasst die Maßnahmen, die nicht als Sofortmaßnahmen auszuführen sind.

In der Regel wird die planbare Instandhaltung im Rahmen kosten- und leistungsmäßig budgetiert. Die Aufstellung eines Instandhaltungsbudgets dient dabei als kostenorientierte Begrenzung der für die einzelnen Instandhaltungsobjekte im Rahmen der Instandhaltungsplanung festgelegten Instandhaltungsleistungen. Das grundsätzliche Problem, dass Instandhaltungskosten aufgrund der vielen Einflussfaktoren sowohl in ihrer Höhe als auch nach ihrem Entstehungszeitpunkt über den Anlagenlebenszyklus erheblichen Schwankungen unterlie-

gen, führt dazu, dass dem Genauigkeitsgrad der Kostenprognosen enge Grenzen gesetzt werden. Bei der Bestimmung von Budgets werden häufig pragmatische Methoden angewandt, da eine am konkreten Bedarf ausgerichtete Kostenplanung aufgrund des damit verbundenen Zeit- und Informationsbedarfs aufwändiger ist.

Um die Höhe des Instandhaltungskostenbudgets nicht weitgehend von der individuellen Verhandlungsstärke der im Abstimmungsprozess beteiligten Parteien abhängig zu machen, ist eine solide, die Budgetforderungen der Instandhaltung rechtfertigende, nachprüfbare Kalkulationsgrundlage wichtig. Mit normalisierten Kostenansätzen²⁶ lassen sich dabei Preisschwankungen bei der Ermittlung des Kostenbudgets der Instandhaltung eliminieren.

4.8.1 Kurzfristplanung

Die Kurzfristplanung umfasst in der Regel einen Zeithorizont von 1-2 Jahren und orientiert sich am Zustand der Anlagen, indem sie neben den Präventivmaßnahmen die bewerteten und priorisierten Ergebnisse der Inspektionen als Instandsetzungsbedarf konkretisiert. Neben der Strukturierung der Maßnahmen und Festlegung der Folge der Abarbeitung (Reihung), gehört die Planung des Ressourcenbedarfs, der Ausführungstermine und der Controlling-Meilensteine zu den Aufgaben der Feinplanung.

Im ersten Schritt verschafft sich der Planer oder Disponent dazu einen Überblick über den Anlagenzustand des Gesamtnetzes. Dabei interessieren ihn weniger die Anlagenobjekte, die sich in einem sicheren und guten Zustand befinden, sondern vielmehr die Problembereiche. Hierzu zählen Anlagen, die Mängel der Kategorie SR_{im} aufweisen. Der Mangel der höchsten Fehlerklasse bestimmt den vorgesehenen kürzesten Ausführungszeitraum, wobei der Instandhalter die Beseitigung weiterer Mängel oder die Ausführung von Wartungsarbeiten zur Vervollständigung am gleichen Ort berücksichtigen und entsprechend disponieren sollte. Um mehrmalige Anfahrten des Objekts zu vermeiden, kann die Beseitigung von Mängeln auch dann sinnvoll sein, wenn sie von untergeordneter Bedeutung sind.

Aufgrund ihres sofortigen Handlungsbedarfs wurden die Mängel der Kategorie SR_G im unmittelbaren Zusammenhang mit der Zustandserfassung im Rahmen einer Notfallinstandsetzung instandgesetzt - oder die entsprechenden Anlagen gesperrt. Die verbleibenden Mängel der höchsten Prioritätsstufen müssen schnell detektiert und deren Beseitigung oder betriebliche Einschränkung, wie die Einrichtung von Langsamfahrstellen bei SR_{im} -Fehlern, zeitnah veranlasst werden. Die Instandsetzungsentscheidung für Objekte mit Fehlern der Kategorie SR_{100} wird abhängig von der Qualitäts- und Budgetvereinbarung sowie langfristig geplanter Maßnahmen getroffen.

Zustand und Instandsetzungsbedarf von Linienelementen wie Gleisen lassen sich zwar in Listenform darstellen, diese sind als Überblick jedoch nicht optimal. Von daher ist eine grafische Aufbereitung unter Bezugnahme auf die Gleislänge und Stationierung sinnvoll. Ideal-

²⁶ Die Normalkostenrechnung minimiert Zufallsschwankungen der Werte durch Berechnung durchschnittlicher Istkosten mehrerer vergangener Perioden.

erweisen lassen sich datenbankgestützte Themenkarten erzeugen, die ein oder mehrere Attribute von Anlagen visuell hervorheben. So lassen sich im Planungsprozess alle Anlagen farblich nach dem Vorhandensein von Fehlern der einzelnen Klassifikationen, z.B. in einer Ampelfunktion darstellen.

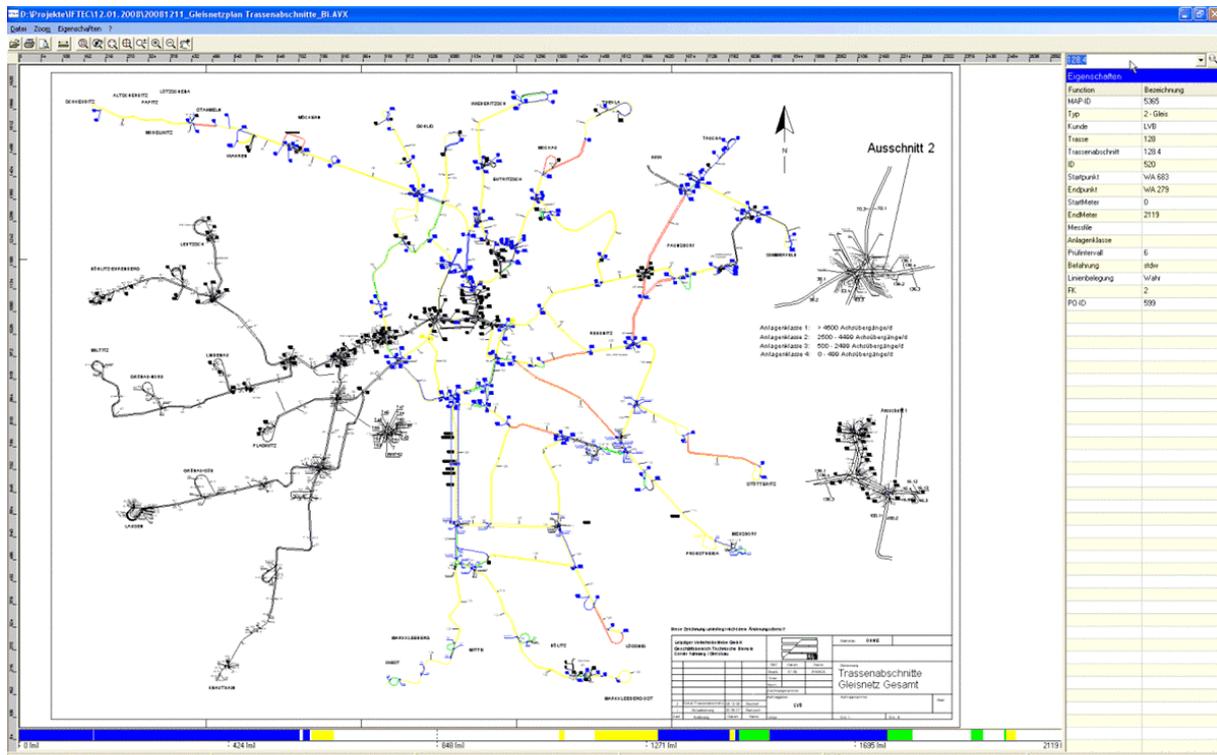


Abbildung 31: Interaktive Themenkarten visualisieren Datenbankinformationen und vermitteln dadurch einen guten Überblick. Aktuelle Zustandsinformationen werden zur schnellen Identifikation und Auswertung farbcodiert dargestellt.

Nach der Lokalisierung der Problembereiche werden diese einzeln, unter Einbeziehung sowohl der Messergebnisse als auch der Sichtprüfungsergebnisse analysiert. Die visuelle Prüfung dient dabei zur Plausibilisierung der gemessenen Toleranzverletzungen und zur Ermittlung der Mangelursache, die es zu beseitigen gilt. Mängel, die ausschließlich auf Messdaten beruhen, müssen gesondert in der Örtlichkeit auf ihre Ursache hin überprüft und dokumentiert werden, um die richtige Instandsetzungsentscheidung zu ermöglichen.

Bei der Instandhaltungsentscheidung spielen sowohl Alter und Belastung als auch Bauform und die noch vorhandene Anlagensubstanz (Rest-Abnutzungsvorrat) und die erwartete wirtschaftliche Restnutzungsdauer sowie die Störungshistorie der Anlagen eine Rolle. Darüber hinaus finden sowohl die Verschleißentwicklung als auch die Instandhaltungshistorie (der letzten Jahre) Berücksichtigung bei der Entscheidungsfindung. Die Instandhaltungsentscheidung kann deshalb letztlich nur der Fachmann treffen; steht ihm eine IDMVU-Datenbasis zur Verfügung, erhält er dadurch eine wertvolle Entscheidungshilfe, da umfassende Informationen zu jedem Anlagenobjekt tagaktuell und plausibel bereitstehen.

Eine grafische Darstellung von Zustand, Alter und Bauart ist für die detaillierte Instandset-

zungsentscheidung von Linienelementen, wie Gleisen, äußerst hilfreich, da Zusammenhänge und Abhängigkeiten verdeutlicht und übersichtlich werden (siehe dazu auch Abbildung 4).

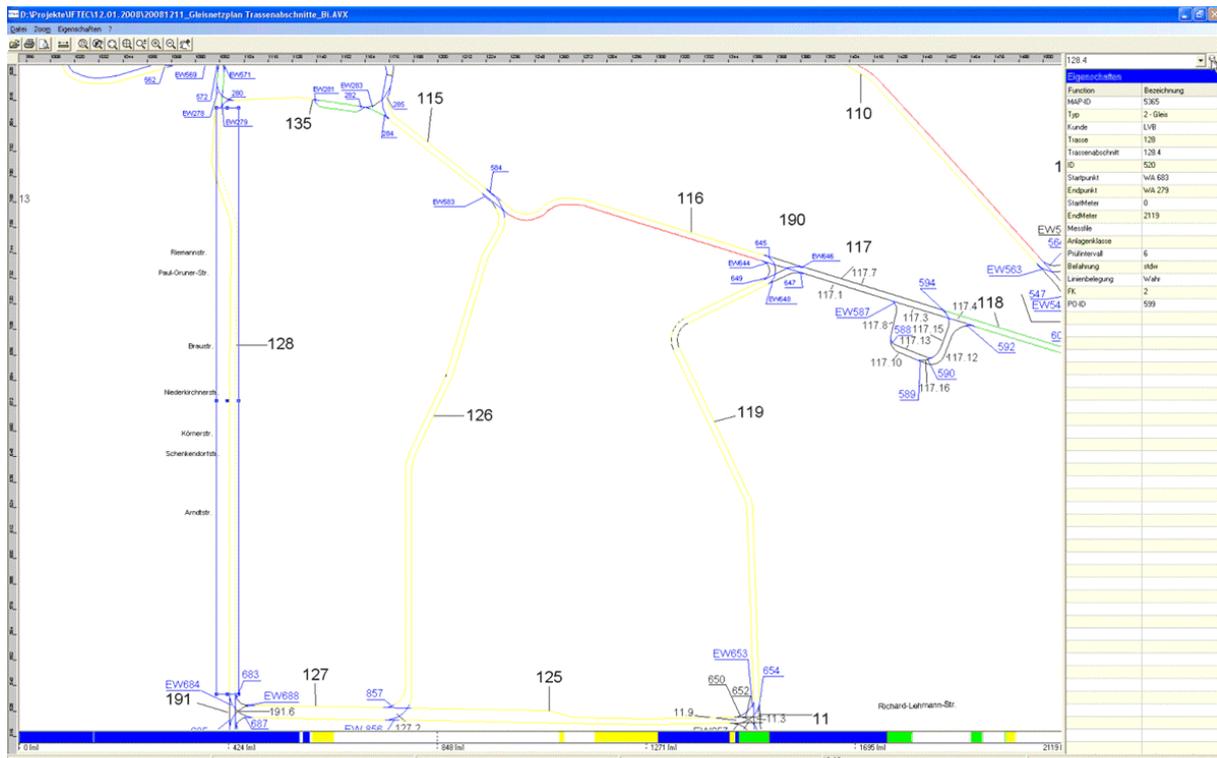


Abbildung 32: Der farbige waagrecht angeordnete Zustandsbalken am unteren Bildschirmrand zeigt die Verteilung der Fehler nach Fehlerklassen des ausgewählten Elements skaliert auf dessen Gesamtlänge, sowie eine detaillierte Beschreibung, sobald der Zustandsbalken vom Mauszeiger bestrichen wird.

Um eine wirtschaftliche Beseitigung der Mängel planen zu können, werden die zur Ausführung vorgesehenen Einzelmaßnahmen im nächsten Prozessschritt zu sinnvollen Losgrößen zusammengefasst und die Beauftragung geplant. Die so generierten Instandhaltungsaufträge sollten sich in unterschiedlicher Art und Weise ausgeben lassen – je nachdem, ob sie als Anfrage, Abruf oder Auftrag dienen.

Die der Feinplanung folgende Arbeitsvorbereitung (AV) birgt in der Regel ein hohes Maß an Prozessoptimierungspotential – weshalb auch hier möglichst umfassende Informationen an die folgenden Prozessschritte weitergegeben werden.

4.8.2 Mittel- und Langfristplanung

Obwohl die Mittel- und Langfristplanung (>2 Jahre) überwiegend mit Annahmen arbeitet, ist sie als Frühindikator, im Sinne des Pareto-Prinzips, hinreichend genau. Sie dient der Früherkennung von Bedarfsschwankungen des Instandhaltungsbudgets - quasi als Vorausschau aus der Vogelperspektive auf kommende, sich anbahnende Instandhaltungsaufwendungen. Somit soll ein Nivellieren der Bedarfsschwankungen durch zeitliche Verschiebung möglich werden, um vor allem eins zu vermeiden: Überraschungen!

Basis für die Mittel- und Langfristplanung bildet die in Kapitel 4.6.2 beschriebene Methode zur Bestimmung der wirtschaftlichen Rest-Nutzungsdauer von technischen Objekten. Abbildung 33 zeigt die Methodik der Lang- und Kurzfristplanung der Instandhaltung eines Gleisnetzes. Die langfristige Grobplanung kommt dabei folgendermaßen zustande:

Das Erstellungsjahr der einzelnen Anlagenobjekte wird um die angenommene Lebenserwartung (wirtschaftliche Nutzungsdauer in Abhängigkeit von der Anlagenklasse) erhöht und daraus der voraussichtliche Erneuerungszeitpunkt errechnet. Die auf empirischer Basis getroffenen Annahmen werden regelmäßig um die Erkenntnisse der Zustandsbewertung korrigiert. Eine Anpassung an die Realität kann beispielsweise anhand einer aktualisierten Substanzbewertung (Kennziffer Abnutzungsvorrat (KAV®)) erfolgen.

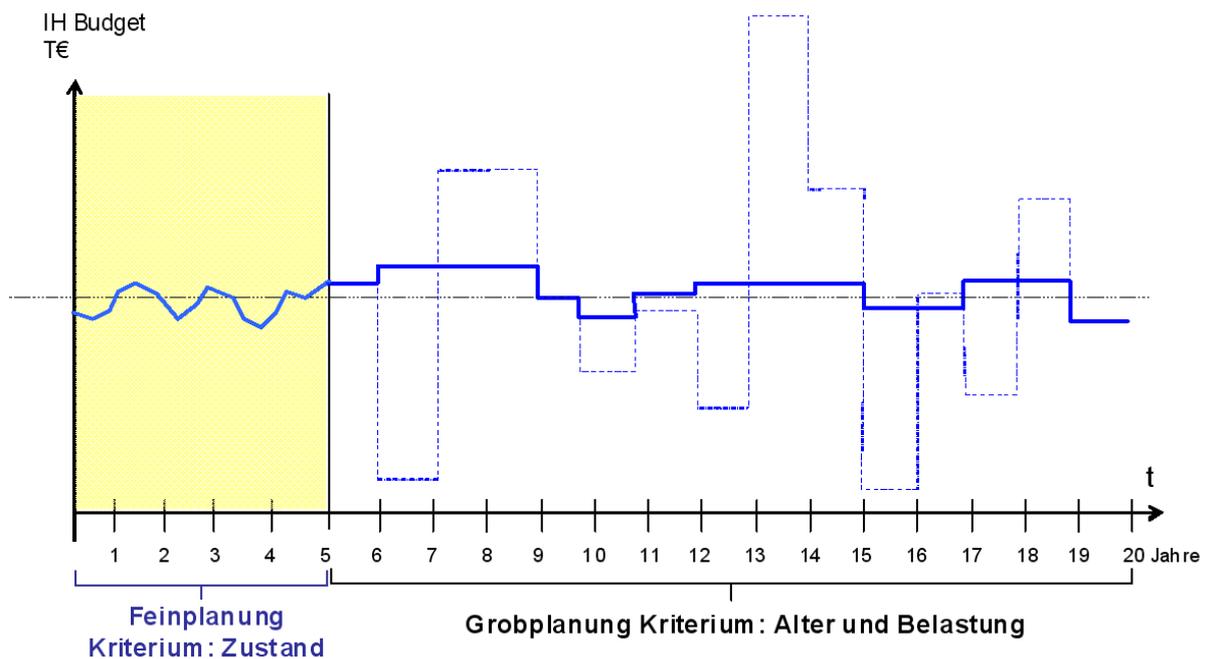


Abbildung 33: Durch zeitliche Vor- und Zurückverlagerung wird der angenommene langfristige Instandsetzungsbedarf verstetigt. Die Feinplanung basiert auf zustandsorientierter Bedarfsermittlung.

4.9 Maßnahmen durchführen

Aufgabe der Instandhaltungssteuerung ist es, sämtliche Maßnahmen, die für geplante Instandhaltungsaktivitäten sowie für ungeplante Instandhaltungsmaßnahmen notwendig sind, zu veranlassen und durchzuführen²⁷.

Zur Instandhaltungssteuerung zählen folgende Aufgaben:

- Auftragsveranlassung,
 - Terminierung

²⁷ Alcalde Rasch, A.: Erfolgspotential Instandhaltung. Erich Schmidt Verlag 2000.

- Disposition der Instandhaltungskapazitäten
- Auftragsdurchführung und -überwachung,
 - Fortschrittserfassung
 - Terminüberwachung
 - Kapazitätsüberwachung
 - Qualitätsüberwachung
- Auftragsrückmeldung und -dokumentation
 - Aufwandserfassung
 - Informationsbereitstellung für Verbesserungsprozesse
 - Aktualisierung der Anlagendokumentation
- Risikoanalyse und -steuerung

Das Steuerungssystem muss dazu mit vertretbarem Aufwand, d.h. möglichst ohne Doppelerfassung zeitnah am Bedarf arbeiten. Möglich wird dies durch eine zustandsabhängige Instandhaltung, die sich auf den bewerteten Zustandsinformationen und den abgeleiteten und priorisierten Maßnahmen stützt, und diese Bedarfsinformation konsequent im gesamten Planungs- und Steuerungsprozess bis hin zur Fertigmeldung nutzt.

Die Dokumentation der Instandhaltungsarbeiten erfolgt idealerweise nach DIN ISO 9000 mit strukturierten Protokollen und Berichten. Die Strukturierung sollte dabei auf eine gute Auswertbarkeit ausgelegt sein, um aussagefähige Fehlerstatistiken und Trendanalysen zu ermöglichen.

Um den Dokumentationsaufwand der Auftragsrückmeldung so gering wie möglich zu halten, ist es auch in diesem Prozessschritt ratsam, Doppelerfassungen zu vermeiden und anfallende Datenpflege an dem Ort bzw. von dem Personenkreis vornehmen zu lassen, wo die Datenänderung entsteht. Dies kann beispielsweise im Rahmen arbeitsteiliger Datenpflege realisiert werden, bei der interne und externe Servicepartner IT-technisch integriert werden und Rückmeldungen und Zustandsaktualisierungen nach durchgeführten Instandsetzungen - eine entsprechende Kontrolle und Abnahme durch den Auftraggeber vorausgesetzt - selbst einpflegen.

Die Steuerung und Abwicklung von Instandhaltungsprojekten erfordert ein hohes Maß an Informationsaustausch zwischen den Beteiligten und ist in der Regel dokumentationsintensiv; ein Dokumentenmanagement ist deshalb ein wichtiger Baustein IT-gestützter Instandhaltung.

4.10 Maßnahmenqualität bewerten

gelmäßige Abgleich zwischen Soll- und Ist-Zustand. Dazu sind periodische Zustandserfassungen und Beurteilungen der Ergebnisse notwendig (Abbildung 30).

Die Zielvereinbarung für die Instandhaltung ist ein wichtiger Maßstab für die Bewertung der Instandhaltungsleistung. Zielvereinbarungen bestimmen insofern auch den Aufwand der Instandhaltung und begründen die Wahl der Instandhaltungsstrategie. Die Instandhaltungsstrategie (reaktiv, präventiv oder zustandsorientiert), also die Methode der Zielerreichung, wird vom Instandhaltungsverantwortlichen festgelegt. Der Strategiemix ist somit in der Regel Bestandteil des dispositiven Freiraums des Instandhalters.

Das technische Instandhaltungscontrolling hat die Aufgabe, das Instandhaltungsmanagement in seinen Entscheidungen zu unterstützen, insbesondere bei Steuerung und Koordination der Instandhaltungsmaßnahmen. Hierzu sind die Instandhaltungsmaßnahmen hinsichtlich ihrer Qualität zu bewerten und eine möglichst umfassende Kosten- und Leistungstransparenz herzustellen:

- Erfassung und Verrechnung der Instandhaltungskosten und -leistungen,
 - Verursachungsgerechte Kostenerfassung und -verteilung
 - Erarbeitung eines kosten- und leistungsbezogenen Anlagenberichtswe-sens
 - Soll-Ist-Vergleich der Kosten
 - Kontrolle der Kosten über die Lebensdauer (Life Cycle Cost Management)
- Gewährleistungsverfolgung,
- Entwicklung von Instandhaltungskennzahlen und Kennzahlensystemen,
- Übertragung von Schlussfolgerungen aus dem Instandhaltungscontrolling in den gesamten Instandhaltungsprozess im Sinne eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP).

Der heterogene Aufbau und die lange Nutzungsdauer der Anlagen stellen hohe Anforderungen an die Gewährleistungsverfolgung und die Qualität der Dokumentation. Eine Bereitstellung der Informationen über durchgeführte Instandsetzung bei der Zustandserfassung, eröffnet die Möglichkeit, den Instandsetzungserfolg aktiv zu prüfen und zu dokumentieren. Eine Gegenüberstellung von Zustandsentwicklung und Instandsetzungsmaßnahmen schafft über die Entwicklung der Einzelanlage hinaus in der Gesamtheit des Netzes eine wertvolle Datenbasis für die Festlegung von Instandsetzungsmaßnahmen und das Nutzungsdauer-management.

Die Ergebnisse und Erkenntnisse des technischen Controllings sind wertvoll für die kontinuierliche Prozessverbesserung der Instandhaltung - deshalb sollten sie als „Feedback“ nutz-bar gemacht werden.

Auch Störungen und Funktionsausfälle sind Indikatoren für Umfang und Qualität der Instandhaltung. Eine verursachungsgerechte Zuordnung von Störungen gehört genauso wie

die angefallenen Kosten zur Schwachstellenanalyse von Anlagen, woraus sich eine zusätzliche Anforderung an IT-Lösungen ergibt, eine dezentrale Erfassung von Störungen, deren Ursache und Auswirkungen bereitzustellen.

5 Glossar

ABC-Analyse	betriebswirtschaftliches Analyseverfahren zur Klassifizierung von Objekten in die Klassen A, B und C auf, die nach absteigender Bedeutung geordnet sind
AEG	Allgemeines Eisenbahngesetz
Anlagenklasse	Einteilung von Netzabschnitten hinsichtlich der Verkehrsbelastung
Attribut	(von lateinisch attribuere = zuteilen, zuordnen) ist ein im Wert einer Variablen gespeichertes Merkmal eines konkreten Objekts.
Attributierung	eine Objektidentität mit Attributen versehen, wie zum Beispiel "Art der Anlage: Gleis"
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BOStrab	Bau- und Betriebsordnung für Straßenbahnen
BüG	Besonders überwachtetes Gleis
Datenmodell	dient dazu, einen Teil der Realität möglichst präzise abzubilden, Datenmodelle sind Ordnungsvorstellungen zur Strukturierung der Daten in einer Datenbank.
Datenbanken	Unter einfachen Datenbanken werden Datenbanksysteme verstanden, die aus einer einzelnen Tabelle bestehen. Komplexe Datenbanken (z.B. relationale Datenbanken) sind über mehrere Tabellen verteilt. Bei Datenbanken verlagert sich die eigentliche Problemstellung meistens von der Handhabung der Software hin zur Datenorganisation, d.h. der Art und Weise, wie die Daten strukturiert und auf dem Speichermedium abgespeichert werden. (Gehri und Wiederkehr, 1993)
Dynamische Segmentierung	Die dynamische Segmentierung kann wirksam jede Art von linearen Elementen modellieren, auch solche mit komplexen Eigenschaften. Die dynamische Segmentierung erlaubt die mehrfache Attributierung einer beliebigen Teilstrecke eines Linienelements. Diese Attribute können gespeichert, dargestellt, abgefragt und analysiert werden, ohne die xy-Koordinaten der dazugehörigen Linienelemente zu beeinflussen.
EBO	Eisenbahn Bau- und Betriebsordnung
(E)BOA	(Eisenbahn) Bau- und Betriebsordnung für Anschlussbahnen
Entität	(englisch Entity) ist ein in der Datenmodellierung eindeutig zu bestimmendes Objekt, dem Informationen zugeordnet werden.
Georeferenzierung	Durch den Vorgang der Georeferenzierung wird eine Positions- oder Ortsinformation auf der Erde („Geo-“) mit einem Objekt der Erdabbildung

	(Karte, Rasterdatei, Information) in Verbindung gebracht. Dies erfolgt meist mit Hilfe von Koordinaten in einem Bezugs- oder Koordinatensystem.
GFT	Gemeinsame Fahrflächentangente
GIS	Geografisches Informationssystem
Gleismeter	Betrachtungseinheit von 1.000 mm Länge
Instandhaltung	umfasst Maßnahmen zur Bewahrung und Wiederherstellung des Sollzustands. Elemente der Instandhaltung sind nach DIN 31 051 Wartung, Inspektion und Instandsetzung.
Instandsetzung	wird nach DIN 31 051 definiert und umfasst die Maßnahmen zur Wiederherstellung des Sollzustandes von technischen Mitteln eines Systems.
Inspektion	Nach DIN 31 051 sind Inspektionen Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes von Bauwerken. Sie unterteilen sich in Maßnahmen zur Überwachung, Untersuchung und Begutachtung.
IPS	Instandhaltungs- Planungs- und Steuerungssystem
IT	Informationstechnik ist ein Oberbegriff für die Informations- und Datenverarbeitung sowie für die dafür benötigte Hard- und Software
Kardinalität	beschreibt in der Datenbanktechnik die Komplexität oder den Grad einer Beziehung (engl. <i>Relationship</i>) zwischen zwei Entitätstypen. Die Entitätstypen zu beiden Seiten einer Kardinalität werden oft auch als <i>Master</i> (links) bzw. <i>Detail</i> (rechts), oder als <i>Parent</i> bzw. <i>Child</i> bezeichnet. Die gebräuchlichsten Beziehungen werden im Hinblick auf ihre Kardinalität wie folgt eingeteilt: 1:1 genau eine Entität ist höchstens einer anderen Entität zugeordnet. 1:n Einer Entität auf der linken Seite der Beziehung (Master) stehen keine, eine oder mehrere Entitäten auf der anderen Seite (Detail) gegenüber. n:m Auf beiden Seiten können beliebig viele Entitäten in Beziehung zueinander stehen. Kardinalität 1 = Pflichtfeld Kardinalität 0..1 = Kannfeld
Kategorie	ist das Ergebnis einer Klassifizierung von Dingen (Gegenständen, Prozessen oder anderen Entitäten)
Klasse	Gesamtheit der Attribute gleicher Objekte, also ein Muster für alle Objekte mit gleichen Merkmalen
Klassifizierung	(auch Typifikation oder Systematik) eine planmäßige Sammlung von abstrakten Klassen (auch Konzepten, Typen oder Kategorien), die zur Abgren-

zung und Ordnung verwendet werden. Klassifizierung wird durch Einteilungen von Objekten anhand bestimmter Merkmale, gewonnen und hierarchisch angeordnet. Die Klassennamen bilden ein kontrolliertes Vokabular.

Klassierung	Die Anwendung einer Klassifikation auf ein Objekt durch Auswahl einer passenden Klasse der gegebenen Klassifikation heißt Klassierung.
Kontrollen	die Überwachung der Funktionsfähigkeit der Instandhaltung durch Prüfung der Instandhaltungsunterlagen und der Instandhaltungsorganisationen.
Kontrollsystem	ist ein Instrument der Leitungstätigkeit, um die Einhaltung der Anforderungen an die bautechnischen und maschinentechnischen Anlagen im Hinblick auf eine sichere Vorhaltung festzustellen.
Krümmung	langwellige Abweichung der horizontalen Gleislage vom geraden Verlauf.
Längsprofil	Schienenkopfzustand in Längsrichtung
Lineare Referenzierung	Relative Position über Kilometrierungsangaben, z.B. entlang einer Gleisstrecke
Linielement	Objekt, das eine Längenausdehnung hat, also eine in Längsrichtung ausge-dehnte Struktur, z.B. Gleise, Straßen etc.
Längshöhe	senkrechte Schienenlage von der Solllage – zur Bestimmung von senkrechten Unebenheiten von Gleisen.
Mangel	die negative Abweichung von einem vereinbarten Soll
Notation	verkürzte Darstellung einer Klasse und/oder von Relationen zwischen Klassen in Klassifikationssystemen. Sie wird nach den Regeln eines spezifischen Notationssystems gebildet, dessen Zeichenvorrat aus Ziffern, Sonderzeichen und Buchstaben bestehen kann.
OR	VDV Oberbaurichtlinien
Parameter	beschreibt den Zustand eines IDM-Objektes bzw. eines Teils einer Gleis-Strecke. Er kann sowohl quantitative als auch qualitative Ausprägungen besitzen. Im ersten Fall beschreibt er in der Regel eine messbare Größe, im zweiten Fall eine textliche Angabe bzw. Einstufung.
PBefG	Personenbeförderungsgesetz
Punktobjekt	Objekt, ohne definierte Längenausdehnung, z.B. Weichen, Straßenquerung
Querhöhe	gegenseitige Höhenlage, Lagedifferenz in vertikaler Richtung von 2 gegenüberliegenden Schienen
Querprofil	Querschnitt des Schienenprofils
Richtung	horizontale Lage der Gleismitte
Schaden	eine negative Veränderung aufgrund eines Mangels
Spurweite	kleinster Abstand zwischen den Schienenkopffinnenflächen eines Gleises.

Überhöhung	Neigung einer Schiene zur Horizontalebene auf der Erdoberfläche.
UML	Unified Modeling Language, eine standardisierte Beschreibungssprache für Strukturen und Abläufe in objektorientierten Programmsystemen
Verwindung	Änderung der Überhöhung längs des Weges.
Workflow	Arbeitsablauf - vordefinierte Abfolge von Aktivitäten in einer Organisation. Dabei kann ein IT-System den Ablauf unterstützen, mit notwendigen Daten versorgen und gemäß einer im System hinterlegten Vorgabe abwickeln.

6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kostenanteile im Life-Cycle der Infrastruktur.....	2
Abbildung 2 Ziel der Instandhaltung (gem. VDV Schrift 170 10/00: Instandhaltung von Schienenfahr) ist analog für die Infrastruktur anzuwenden.	3
Abbildung 3: Informations- und Dokumentationsbedarf in der Instandhaltung.....	8
Abbildung 4: Zusammenhänge zwischen Stationierung, Mängel und Konfiguration eines Gleis-Strecken-Teils grafisch dargestellt. Die Mängel sind entsprechend ihrer Fehlerklassifizierung (FK) in Ampelfarben (rot = FK1, gelb = FK2, grün = FK3, blau = FK4) farbcodiert. Die Konfiguration zeigt Gleisabschnitte mit gleichen Attributen auf, die farbgleich dargestellt sind. Im Beispiel sind Schienenform, Schwellenbefestigung und Eindeckung im gesamten Gleis (0-480m) einheitlich.	10
Abbildung 5: UML-Diagramm zur Vererbung in der TOP-Ebene Zustandsdaten.....	14
Abbildung 6: UML-Diagramm der Zustandsdaten	15
Abbildung 7: Bestandsdaten eines Gleis-Strecken-Teils inkl. der Bauwerke zur Zuordnung von Zustandsdaten	17
Abbildung 8: Bestandsdaten einer Weiche zur Zuordnung von Zustandsdaten.....	17
Abbildung 9: Gleisdokumentation mit zusammengeführten kategorisierten Zustandsdaten aus Messung, visueller Prüfung und abgeleiteten Maßnahmen eines Gleis-Strecken-Teils	24
Abbildung 10: Zusammengefasstes Inspektionsergebnis einer Weiche mit Bestands- und Zustandsdaten.	25
Abbildung 11: Messergebnis einer mehrspurigen Weiche (Normal + Meterspur) im Rahmen einer Weicheninspektion. Die gelb unterlegten Messungen sind im Beispiel erläutert.	26
Abbildung 12: Beispiel einer Anlagenklassifizierung mit 4 Klassen: A-B-C-D (Quelle: Netz der Leipziger Verkehrsbetriebe LVB nach Nutzungshäufigkeit).....	29
Abbildung 13: Ergebnis einer ABC-Analyse zur Anlagenklassifizierung von Weichen.....	30
Abbildung 14: Beispiel einer Messpunktskizze für Quermaßmessung für Einfache Weichen EW 49-190-1:9-Fsch-(H).	33
Abbildung 15: Beschreibung und Lage der Messpunkte einer Vignolschienenweiche im Nahverkehr und Güterverkehr.....	33
Abbildung 16: Messparameter von Weichen und deren 4-stufige Toleranzen (SR_A , SR_{100} , SR_{lim} und SR_G).....	34
Abbildung 17: Ergebnis einer digitalen Gleisgeometriemessung	35
Abbildung 18: Ergebnis des Schienenprofilvergleichs zwischen Ist- und Neuprofil	36
Abbildung 19: Gleislageparameter im Überblick (Quelle: INFIN Schlussbericht).....	37
Abbildung 20: Messparameter von Gleisen und deren 4-stufige Toleranzen (SR_A , SR_{100} , SR_{lim} und SR_G).....	38
Abbildung 21: Häufigkeitsverteilung von 2 Jahresmessungen aller Weichen am Messpunkt s3z (Spurweite im Zwischenschienenbereich Zweiggleis) mit Sollwert und SR_{lim} Toleranz.....	40
Abbildung 22: Schematischer Verlauf der Verschleißentwicklung mit den Bewertungsgrenzen: Toleranzen und Fehlerklassen	42
Abbildung 23: Beispiel für eine aktuelle, auf Basis der Technischen Regeln Spurführung (TR Sp) entwickelten Quermaßstabelle mit Sollwerten und 4 Toleranzbereichen SR_A , SR_{100} , SR_{lim} und SR_G	44
Abbildung 24: Beispiel für Sammelauswertung mit zusammengefassten Ergebnissen einer Weicheninspektion bestehend aus Messungen und Sichtprüfungsergebnissen	46
Abbildung 25: Typischer Entwicklungsverlauf des Abnutzungsvorrats – ohne Intervention - mit dem	

Maßstab Kennziffer Abnutzungsvorrat KAV® (0,0 ... 1,0).....	47
Abbildung 26: Kennziffer Abnutzungsvorrat als langfristiges Steuerungs- und Kontrollinstrument der Infrastrukturinstandhaltung.....	49
Abbildung 27: Angenommene Nutzungsdauer für 1 Objekt der Anlagenklasse A (25 Jahre).....	51
Abbildung 28: UML-Diagramm der kaufmännischen Daten für IDM Objekte.....	51
Abbildung 29: Aus der Sammelauswertung erstellt der Anlagenmanager eine verdichtete Maßnahmenübersicht – mit zu Paketen zusammengefassten Instandsetzungsmaßnahmen und der Ausführungsreihenfolge.....	53
Abbildung 30: Beispiel einer Zielvereinbarung: Fristen zur Beseitigung priorisierter Mängel (FK 1 bis 4) in Abhängigkeit ihres Auftretens in den Anlagenklassen (AK A-B-C) von Weichen und Gleisen	54
Abbildung 31: Interaktive Themenkarten visualisieren Datenbankinformationen und vermittelt dadurch einen guten Überblick. Aktuelle Zustandsinformationen werden zur schnellen Identifikation und Auswertung farbcodiert dargestellt.	56
Abbildung 32: Der farbige waagrecht angeordnete Zustandsbalken am unteren Bildschirmrand zeigt die Verteilung der Fehler nach Fehlerklassen des ausgewählten Elements skaliert auf dessen Gesamtlänge, sowie eine detaillierte Beschreibung, sobald der Zustandsbalken vom Mauszeiger bestrichen wird.....	57
Abbildung 33: Durch zeitliche Vor- und Zurückverlagerung wird der angenommene langfristige Instandsetzungsbedarf verstetigt. Die Feinplanung basiert auf zustandsorientierter Bedarfsermittlung.....	58