



Quelle: <https://www.zevrail.de/artikel/zug-ein-weg-zur-automatisierten-instandhaltungsplanung-fuer-das-gleisumfeld>

---

2019 (Jahrgang 143) / Ausgabe 08 / Sprache: Deutsch

# ZuG – ein Weg zur automatisierten Instandhaltungsplanung für das Gleisumfeld

Autoren: Timo Strobel, M. Sc, Hamid Tavakoli, M. Sc., Felix Heizler, M. Sc., Prof. Dr.-Ing. Corinna Salander

---

## Zusammenfassung

Im Projekt Zustandsüberwachung des Gleisumfelds wird das Assistenzsystem ZuG<sup>3D</sup> zur Überwachung und Instandhaltung des Gleisumfelds als Technologiedemonstrator entwickelt. Dieses begleitet die gesamte Prozesskette der Instandhaltungstätigkeiten bei Eisenbahninfrastrukturunternehmen von der Erkennung und Bewertung möglicher Gefährdungen im Gleisumfeld über die Planung bis hin zur Dokumentation der abgeschlossenen Maßnahmen. Im Zuge der Automatisierung des Schienenverkehrs werden an Schienenfahrzeugen zahlreiche Sensoren angebracht, unter anderem Videokameras. Diese können nicht nur für die Hinderniserkennung, sondern auch zur optischen Abtastung des Gleisumfelds verwendet werden. Durch eine anschließende 3D-Geländemodellierung und Datenauswertung können Instandhaltungsbedarfe objektiv und unabhängig von Meldungen durch den Triebfahrzeugführer ermittelt werden. Dadurch wird der Prozess der Instandhaltung des Gleisumfelds einfacher und transparenter.

---

## 1 Einführung

Die gesamte Infrastruktur aller Eisenbahnen in Deutschland umfasst rund 38.000 Kilometer. Die Aufgabe von Eisenbahn-Infrastrukturunternehmen (EIU) ist die Bereitstellung der Infrastruktur gemäß der betrieblichen und rechtlichen Anforderungen der Eisenbahn-Verkehrsunternehmen (EVU) und des Gesetzgebers. Im Vordergrund stehen dabei die Faktoren Sicherheit und Verfügbarkeit. Ein Werkzeug zur Sicherstellung dieser Faktoren ist die Instandhaltung, die nicht nur den Gleiskörper mit Unter- und Oberbau, sondern auch das Umfeld des Gleises umfasst. In jüngerer Zeit haben in verschiedenen Regionen Deutschlands beispielsweise umgestürzte Bäume große Schäden an Bahnanlagen verursacht und deren Verfügbarkeit erheblich eingeschränkt.

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Nutzung von digitalen Technologien und der allgegenwärtigen Verfügbarkeit von Daten – z.B. aus dem automatisierten Fahren – wird im Projekt Zustandserfassung des

Gleisumfelds (ZuG) ein Assistenzsystem für die Instandhaltung des Gleisumfelds und damit eine teilautomatisierte Software-Lösung geschaffen. Diese soll in Zukunft eine effizientere und zugleich bedarfsgerechtere Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen ermöglichen. Als Datenquelle sollen Videoaufzeichnungen aus Blickwinkel des Triebfahrzeugführers zweitgenutzt werden, die durch das automatisierte Fahren ohnehin vorhanden sind.

Das Projekt ZuG wird durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Rahmen des Modernitätsfonds *mFUND* gefördert, welcher Forschungs- und Entwicklungsprojekte rund um digitale datenbasierte Anwendungen für die Mobilität 4.0 unterstützt [1]. Beteiligt am Projekt sind die Partner ASCI Systemhaus GmbH, DB RegioNetz Verkehrs GmbH (DB RNV) in Kooperation mit der DB RegioNetz Infrastruktur GmbH Erzgebirgsbahn (DB RNI EGB), Fraunhofer Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme (IAIS) und der Lehrstuhl Schienenfahrzeugtechnik an der Universität Stuttgart (IMA). Die Projektleitung liegt beim Eisenbahn-Bundesamt (EBA).

Testfeld ist die Strecke „Annaberg-Buchholz Süd – Schwarzenberg“ der DB RNI EGB. Diese Strecke ist derzeit nicht regelmäßig für den Personennahverkehr bestellt und wird künftig im Rahmen zahlreicher Forschungsprojekte als „Living Lab“ unter besonderen betrieblichen Regelungen genutzt.

## 2 Die Instandhaltung heute

Zur Einordnung der Funktionen des im Projekt ZuG entwickelten ZuG<sup>3D</sup>-Systems in den betrieblichen Kontext des EIU wird der Prozess der „geplanten Instandhaltung“ im Folgenden skizziert. Darauf liegt der Fokus von ZuG<sup>3D</sup>. Unmittelbar sicherheitsrelevante Meldungen durch den Triebfahrzeugführer (Tf), die aufgrund einer drohenden oder manifestierten Betriebseinschränkung einen sofortigen Eingriff zur Beseitigung der Gefährdung durch das EIU erfordern, werden teilweise in ZuG<sup>3D</sup> abgebildet. Deshalb soll dieser zeitkritische Prozess ebenfalls erläutert werden.

### 2.1 Rechtliche Grundlagen

Die Instandhaltungsprozesse der Eisenbahn-Infrastruktur sind in einer Vielzahl von nationalen und europäischen Regelungen festgelegt. Europäische Richtlinien, wie z.B. die 2016/797/EU [2] und die 2016/798/EU [3], beschreiben vor allem allgemeine Anforderungen an Sicherheit, Gefährdungserkennung und Risikomanagement des Systems Bahn. Auf nationaler Ebene verpflichtet das Allgemeine Eisenbahngesetz (AEG) [4] dazu, dass die Eisenbahninfrastruktur den „Anforderungen der öffentlichen Sicherheit an den Betrieb“ genügen muss. Die Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) [5] sowie die Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität für die Teilsysteme Infrastruktur (TSI INF) [6] und Energie (TSI ENE) [7] legen konkrete Anforderungen an den Aufbau und die Beschaffenheit der Infrastruktur fest. Anforderungen und Vorgaben in Bezug auf die Instandhaltungsvorbereitung und -durchführung werden für das öffentliche Eisenbahnnetz in Deutschland durch unternehmensinterne

Richtlinien der DB (Ril) definiert.

## 2.2 Akteure beim EIU

Für die Durchführung des Instandhaltungsprozesses sind die nachfolgenden Akteure verantwortlich. Sie sollen durch den ZuG<sup>3D</sup>-Infrastrukturassistenten innerhalb ihrer jeweiligen Verantwortungsbereiche unterstützt werden.

- Person mit Anlagenverantwortung (Alv) für ein bestimmtes Gewerk (z.B. Bezirksleiter): Verantwortlich für den ordnungsgemäßen Zustand der Infrastruktur des EIU
- Teamleiter (TL): Verantwortlich für die Einsatz- und Ressourcenplanung innerhalb eines Gewerks
- Streckenmeister (StrM): Verantwortlich für den ordnungsgemäßen Zustand der Infrastruktur eines Netzbezirks
- Werkmeister (WM): Verantwortlich für die ordnungsgemäße Umsetzung von Maßnahmen (Vorarbeiter)
- Instandhalter (IH): Verantwortlich für die ordnungsgemäße Umsetzung von Maßnahmen
- Melder: Vertrauenswürdige externe Quelle

## 2.3 Instandhaltungsprozess

Im Folgenden wird der Ist-Zustand der Instandhaltung des Gleisumfeldes vorgestellt; Bild 1 zeigt schematisch den zugehörigen Prozessablauf. Die blauen Felder umfassen die Auslöser des Instandhaltungsprozesses. Die grauen Felder kennzeichnen die Tätigkeiten der Instandhaltungsplanung beim EIU, die durch Alv, TL und StrM durchgeführt werden. Die orangen Felder stehen für die Tätigkeiten der Instandhalter selbst, also WM und IH. Gelbe Felder stellen verkehrsbetriebliche Maßnahmen durch den Fdl dar.

Auslöser für eine Instandhaltungsmaßnahme ist ein voraussichtlich gefahrdrohender Zustand, der sich aus den blauen Feldern ergibt und entweder durch den Instandhalter, den Triebfahrzeugführer oder Dritte erkannt wird. Regelmäßig werden gemäß Regelwerk Inspektionen des Gleisumfelds, wie z.B. Begehungen, Befahrungen, Regelinspektionen des Baumbestands oder Fahrwegmessungen, durchgeführt. Nach Naturereignissen oder Unfällen werden bei Bedarf zusätzliche Begutachtungen oder Sonderinspektionen durchgeführt. Stellt ein Tf Unregelmäßigkeiten fest oder erfährt das Triebfahrzeug einen Zusammenstoß mit geringem Sachschaden, muss der Tf dies an den zuständigen Fdl melden. Bei Zusammenstößen und Aufprallen mit größeren Sach- oder mit Personenschäden ist das Notfallmanagement nach Ril 123 [8] zu beteiligen, und ein separater Prozess tritt in Kraft, der hier nicht dargestellt ist. Darüber hinaus ist es möglich, dass Dritte oder Bedienstete, die mit anderen Aufgaben betraut sind, Auffälligkeiten an die Einsatzleitung (Disponent oder Lokleitung) melden.

Die Informationen aus den drei vorgestellten Meldepfaden treffen beim Alv ein und werden von diesem auf ihre Priorität hin bewertet. Zeitlich kritische Gefährdungen werden durch das EVU in einem Tagesbericht

erfasst, der die zu behebenden Gefährdungen beinhaltet. Jene Gefährdungen, die eine sofortige Reaktion erfordern, werden zusätzlich direkt dem EIU gemeldet, was sofort eine Aussendung von Instandhaltungsteams zur Folge hat. Auf Grundlage der erstellten Protokolle legt der Alv einen „Instandhaltungsplan“ fest, welcher die jeweils erforderlichen Instandhaltungsmaßnahmen und das verantwortliche Gewerk enthält. Zusätzlich werden, abhängig von der unmittelbar ausgehenden Gefahr des erkannten Objekts, die Priorität der Maßnahme und die Frist der Fertigstellung festgelegt. Im nächsten Schritt wird der Fall an den TL weitergegeben. Dieser legt den zu erwartenden Bedarf an Maschinen, Material und Personal fest und nimmt in Absprache mit dem StrM die Aufgaben- und Schichteinteilung vor. Danach wird in Rücksprache mit dem WM die Durchführbarkeit der geplanten Arbeiten überprüft. Die Durchführung der Instandhaltungsmaßnahme erfolgt durch ein IH-Team, das durch den StrM oder WM ausgesendet wird und die anstehenden Arbeiten durch eine Meldung bei der Einsatzleitung anmeldet. Diese wiederum ordnet dem Fdl verkehrsbetriebliche Maßnahmen an, der daraufhin beispielsweise entsprechende Gleise sperrt oder die Befahrung der Strecke auf Sicht anordnet. Nach Ausführung der Maßnahme erfolgt eine Rückmeldung des IH-Teams beim Fdl, der die angeordneten verkehrsbetrieblichen Maßnahmen entweder vollständig zurücknimmt oder im Falle längerfristiger Arbeiten betriebliche Einschränkungen anordnet, wie z.B. das Einrichten einer vorübergehenden Langsamfahrstelle. Darüber hinaus gibt der WM bzw. IH dem StrM eine Rückmeldung über die durchgeführten Maßnahmen, die wiederum dokumentiert werden. Sind Aufgaben vollständig erledigt, wird der gesamte Vorgang durch den Alv in einem zum Objekt gehörigen Dokument, wie z.B. dem Bauwerksheft, erfasst. Sind Aufgaben nicht vollständig erledigt, werden Informationen durch den Alv ebenfalls in den IH-Plan eingepflegt, sodass eine neue Priorisierung der anstehenden Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden kann.

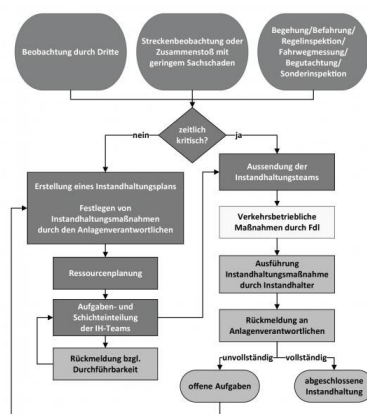


Bild 1: Prozessablauf der Instandhaltung beim EIU

### 3 Exkurs: Streckenbeobachtung durch den Tf

Derzeit fordert die §45 (1) EBO ausdrücklich, dass sich ein Tf im Führerstand befinden muss [4]. Gemäß Fahrdienstvorschrift müssen „gefährdende Umstände“ (Ril 408.0541) gemeldet und die „Strecke durch den Tf beobachtet“ (Ril 408.2341) werden [9]. Abgesehen von der Fahrzeugsteuerung ist es tatsächlich die zweitwichtigste Aufgabe des Tf, das Gleisumfeld zu beobachten und gegebenenfalls Auffälligkeiten an den Fdl zu melden oder das Fahrzeug anzuhalten. Diese Information des Tf ist, neben der Inspektion, eine wichtige Eingangsgröße für das System „Instandhaltung der Infrastruktur“ und damit eine wichtige Schnittstelle zwischen EVU und EIU.

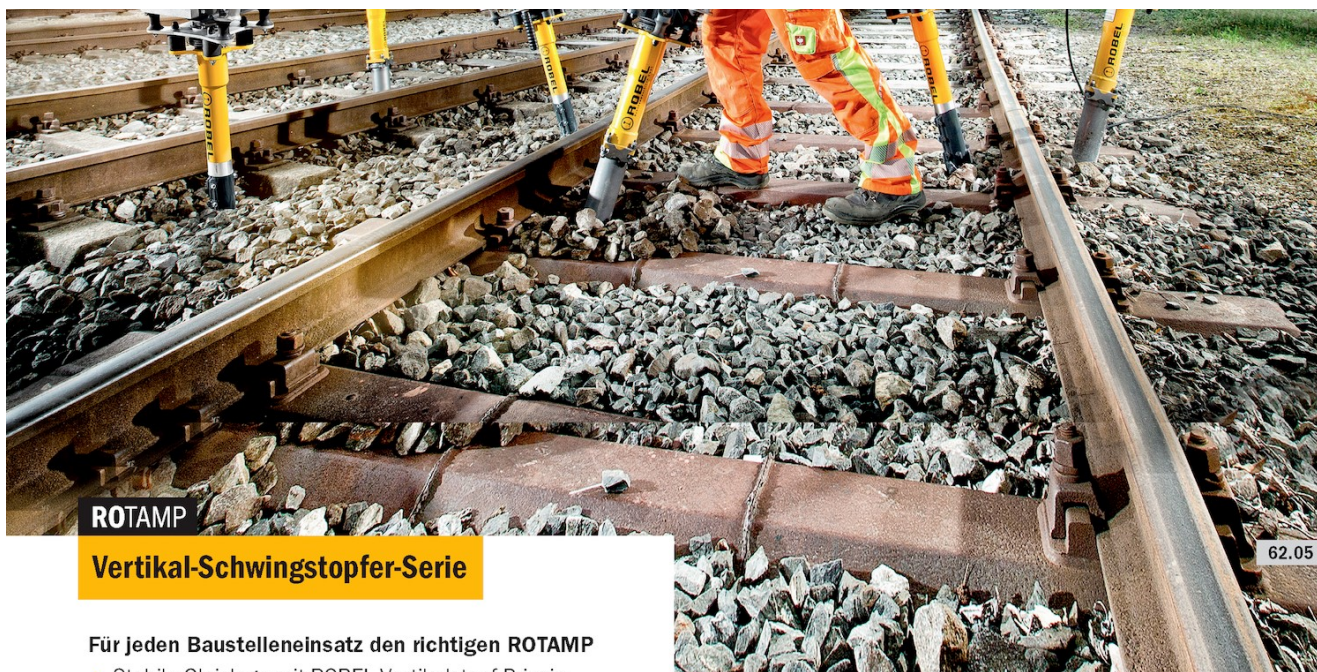
Betrachtet man nun den Fall des automatisierten Fahrens, bei dem sich im Regelbetrieb kein Tf mehr im Führerstand befindet, muss diese Pflicht durch eine technische Lösung realisiert werden. Diese Betriebsart entspricht der dritten und vierten Stufe in der branchenüblichen Einteilung des Automatisierungsgrades (Grade of Automation, GoA). Deswegen kann es ein weiterer Nutzen des Projekts ZuG sein, diese Aufgaben des Tf solchermaßen ersetzen zu können. Durch eine frühzeitige Erkennung des Gefährdungspotenzials der Objekte, die sich im Gleisumfeld befinden, und der daraus abgeleiteten Maßnahmenumsetzung kann die Anzahl der Gefährdungen minimiert werden, die heute während der Vorbeifahrt vom Tf erkannt werden. Stellen sich Projektergebnisse und dieser neue Ansatz durch Langzeitstudien und einen Sicherheitsnachweis als belastbar heraus, ist dies auch ein geeigneter Hebelarm zur Anpassung des Regelwerks in Bezug auf automatisiertes Fahren ohne Tf.

Anzeige



**DIE ROTAMP  
VARIANTENVIELFALT.**

**ZUKUNFTSSCHMIEDE. ROBEL.**  
Leistungsschau im Werk Freilassing  
17. - 19.09.2019  
Anmeldung unter [www.robел.com](http://www.robел.com)



**ROTAMP**

### Vertikal-Schwingstopfer-Serie

Für jeden Baustelleneinsatz den richtigen ROTAMP

- Stabile Gleislage mit ROBEL Vertikalstopf-Prinzip
- Starke Stopfleistung bei hoher Ergonomie
- Sorgfältiger Arbeitsprozess reduziert Kosten

[www.robел.com](http://www.robел.com)



## 4 Instandhaltung der Zukunft

Der im Projekt ZuG entwickelte Technolgie-demonstrator wird als „ZuG<sup>3D</sup>-Infrastrukturassistent“ bezeichnet und besteht aus den zwei Subsystemen „Zentrale 3D-Einheit (Z3D)“ und „Instandhaltungs-Manager (IHM)“. Zielgruppe sind die Akteure des Instandhaltungsprozesses bei der Durchführung wesentlicher Tätigkeiten, die durch eine effizientere und bedarfsorientiertere Gestaltung des vorgestellten Instandhaltungsprozesses unterstützt werden. Als Eingangsgrößen dienen die Videoaufzeichnungen des Gleisumfelds (Primärdaten) sowie weitere zur Auswertung erforderliche Daten (Sekundärdaten).

### 4.1 Grundidee

Der in Kapitel 2 beschriebene Instandhaltungsprozess wird durch das ZuG<sup>3D</sup>-System innerhalb der

Prozesse des EIU nachgebildet und um sinnvolle Funktionen, wie z.B.

- digitale Speicherung von Daten,
- Dokumentations-Assistent,
- Kommunikationsplattform,
- Userinterface für verschiedene Systeme (mobile Endgeräte und Desktop-PC),
- Zugriff auf Kartenmaterial

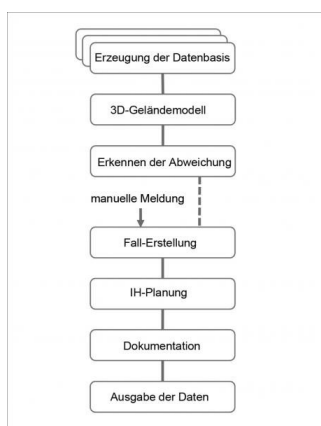
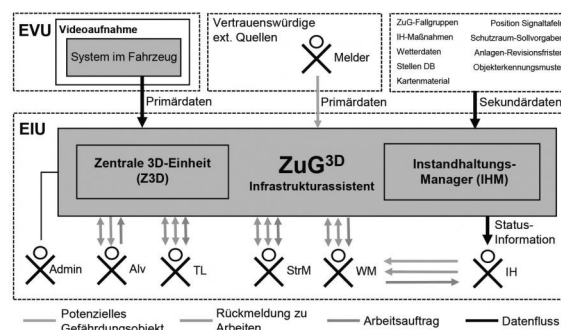
(OpenRailwayMap),

- Management der Untersuchungs-, Regel- und Sonderinspektionsfristen und
- Darstellung der Anlagenhistorie

erweitert. Bild 2 stellt die Systemfunktionen auf Prozessebene dar. Auf der Basis von Videoaufzeichnungen aus dem Blickwinkel des Triebfahrzeugführers werden sowohl ein 3D-Modell des Geländes erzeugt als auch Objekte erkannt. Die technische Lösung des Projekts sieht vor, eine Kamera frontal in jeder Fahrtrichtung auf einem Triebfahrzeug (VT 642 – Siemens Desiro) der DB RegioNetz Verkehrs GmbH zu montieren. Bei der Auswertung der Kameradaten wird mit speziell entwickelten Algorithmen sichergestellt, dass eine möglichst große Zahl der in blau hinterlegten Anwendungsfälle aus Bild 1 abgedeckt ist. Alternativ dazu steht der skizzierte manuelle Meldeweg zur Verfügung. Bei erkannter oder gemeldeter Abweichung wird im ZuG<sup>3D</sup>-System eine digitale Fall-Akte angelegt, welche das gesamte nachfolgende Vorgehen beinhaltet und auf deren Basis die Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden. Für eine komfortable Nutzung durch die Anwender wird eine Web-Anwendung konzipiert, die auch auf mobilen Endgeräten nutzbar ist.

## 4.2 Interaktion der Akteure mit dem ZuG<sup>3D</sup>-System

Der komplexe Vorgang der Instandhaltungsplanung erfordert eine direkte und einfache Interaktion zwischen den Akteuren. Bild 3 stellt diese Interaktion der Akteure mit dem System und der Systembestandteile untereinander grafisch dar. In blauer Farbe sind Meldungen über potenzielle Gefährdungsobjekte dargestellt. Die Erteilung von Arbeitsaufträgen ist in Rot gekennzeichnet. Grün beschreibt die Rückmeldung zu Arbeiten. Dabei wird systemintern differenziert nach erledigten Arbeiten und Arbeiten, die aus bestimmten Gründen nicht durchgeführt oder fertig gestellt werden können. Schwarze Pfeile stellen den Datenfluss zwischen den Subsystemen dar.

Bild 2: ZuG<sup>3D</sup>-Systemfunktionen auf ProzessebeneBild 3: Systemarchitektur und Interaktion der Akteure mit ZuG<sup>3D</sup>

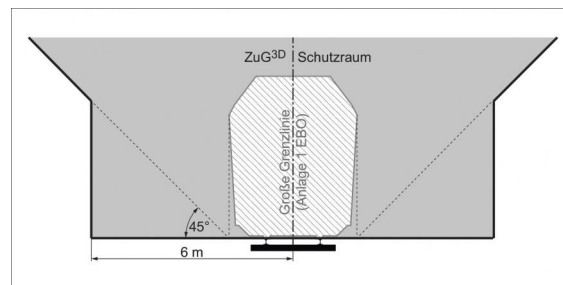
### 4.3 Erstellung eines 3D-Modells des Gleisumfelds

Die Aufgabe der Z3D ist die Erstellung eines 3D-Geländemodells der befahrenen Strecke aus aufgezeichneten Videodaten und somit die Erkennung von Unregelmäßigkeiten im Gleisumfeld. Bild 4 zeigt die optische Erkennung der verschiedenen Objekte als Punktwolke [10]. Die Online-Datenverarbeitung, Erstellung der 3D-Modelle und Objekt-Klassifizierung im Fahrzeug ist aufgrund der großen Anzahl an Informationen im Gleisumfeld nicht möglich. Deshalb werden die Video-Daten zunächst temporär im Fahrzeug zwischengespeichert und später in einem Rechenzentrum durch Z3D verarbeitet. Das erzeugte 3D-Modell bezieht sich zugunsten der Reduzierung der Datenmenge nur auf einen gewissen Betrachtungsraum, der als ZuG<sup>3D</sup>-Schutzraum bezeichnet wird (graue Fläche in Bild 5 mit Regellichtraum nach [5]). Das bei jeder Befahrung erstellte zeitreferenzierte Modell wird mit einem oder mehreren zeitlich zurückliegenden 3D-Modellen verglichen und die Lageposition der Objekte, die in den Schutzraum einragen, kontinuierlich überwacht. So werden Sicherheitsrisiken, z.B. durch umsturzgefährdete Bäume, frühzeitig identifiziert. Diese Informationen werden als potenzielle Gefährdungsobjekte gespeichert und über eine Datenschnittstelle zwischen den beiden Teilsystemen Z3D und IHM übertragen. Die Z3D deckt den Bereich der blauen Felder in Bild 1 ab.





Bild 4: Videoaufnahme einer Szenerie als Punktwolke

Bild 5: ZuG<sup>3D</sup>-Schutzraum mit Großer Grenzlinie nach EBO

## 4.4 Konzeption einer Webanwendung

Der IHM zur Steuerung und Überwachung von Instandhaltungsaufgaben ist als Web-Anwendung konzipiert, die von eingesetzten Hardwarekomponenten und Betriebssystemen unabhängig ist. Übermittelt die Z3D ein neues Gefährdungsobjekt, wird im IHM automatisch ein neuer Fall angelegt. Alternativ kann dies auch durch die Akteure oder eine andere vertrauenswürdige Informationsquelle geschehen. Während der Vergleich mit Daten des Vortages Auskunft über kurzfristige Veränderungen mit hoher oder akuter Gefahr gibt, liefert der Vergleich mit Daten des Vorjahres Informationen bezüglich langfristiger, stetiger Veränderungen. Zusätzlich ermöglicht ein Vergleich mit Daten, die bei vergleichbaren Wetterbedingungen aufgenommen wurden, Aussagen über die Risikoeinstufung eines Gefährdungsobjekts. Dafür werden Wetterdaten aus der offenen Plattform des Deutschen Wetterdienstes (DWD) abgefragt. Auf Basis der Informationen zu Art, Lage und Kritikalität des Gefährdungsobjekts schlägt der IHM auf Grundlage vorangegangener ähnlicher Fälle geeignete Instandhaltungsmaßnahmen und Fristen vor. Der IHM verfügt darüber hinaus über eine Dokumentationsfunktion, welche es ermöglicht, nach der Durchführung der IH-Maßnahmen alle dazugehörigen Prozesse zu dokumentieren und im System zu speichern. Die Nutzung der in mobilen Endgeräten vorhandenen Einrichtungen (Kamera, GNSS-Empfänger) ermöglicht eine optimale Dokumentation der ausgeführten Maßnahmen. Außerdem kann in einer Kartendarstellung der aktuelle Standort des Instandhalters und die Lageposition des erkannten Objektes angezeigt werden. Außerdem werden die Wetterdaten zum Zeitpunkt der Erkennung der Auffälligkeit angezeigt. Um Lücken in der Mobilfunkabdeckung zu umgehen, ist eine Zwischenspeicherung der Daten auf den mobilen Endgeräten vorgesehen, welche es auch zulässt, Eingaben und Tätigkeiten offline vorzunehmen. Mit der Umsetzung eines automatisierten Login-Verfahrens sind die Instandhalter bei

der Arbeit davon entlastet, darauf zu achten, in welchem Verbindungszustand sich ihr Gerät befindet. Der IHM deckt den Prozessstrang von der Erstellung des Instandhaltungsplans bis zur Dokumentation der erledigten Aufgaben aus Bild 1 ab.

## 4.5 Umsetzung der Datenanalyse

Bei der Auswertung der aufgezeichneten Verschiebung eines Objektes quer zur Gleisachse erfolgt zunächst eine Signifikanzprüfung, in der festgelegt wird, ob es sich beim Messwert um Messrauschen oder eine reale physikalische Abweichung handelt. Dafür wird zunächst eine Referenzmessung erstellt, anhand welcher das Systemverhalten beschrieben werden kann. Schienenfahrzeug und Kamera können diesbezüglich als ein gemeinsames „fahrendes Messgerät“ aufgefasst werden. Entscheidende Systemeigenschaften in Bezug auf die Positionsmessung von Objekten sind demnach:

- Spurführung,
- Quersteifigkeit des Fahrzeugs,
- Position der Kamera vor dem führenden Radsatz,
- Aufhängung der Kamera sowie
- äußere Störgrößen, wie z.B. der Seitenwindeinfluss auf den Wagenkasten.

Anhand von Methoden aus der Statistik wird die Häufigkeitsverteilung der Messwerte aufgezeigt. Für die Referenzmessung ist gemäß [11] ungefähr ein Stichprobenumfang von  $n = 50$  Messungen erforderlich, damit die Aussagekraft der Verteilungsfunktion gegeben ist. Diese Referenzmessungen müssen innerhalb eines kurzen Zeitraumes stattfinden, sodass davon ausgegangen werden kann, dass sich kein Objekt im Gleisumfeld bewegt hat. Ausgewertet wird stets lediglich die Verschiebung eines Referenzobjekts  $\Delta y (n)$ . Durch diese Art des Zufallsexperiments wird erwartet, dass sich eine Standardnormalverteilung mit den Eigenschaften Erwartungswert  $\mu$  und Standardabweichung  $\sigma$  ausbildet. Da lediglich die Verschiebung betrachtet wird, ist der Erwartungswert folglich  $\mu = 0$ . Die Varianz  $\sigma^2$  der Messwerte charakterisiert das Verhalten des Messsystems und damit die Form der Verteilungsfunktion.

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \quad | \quad 1$$

Aus der Varianz wird die Standardabweichung  $\sigma$  berechnet. Sämtliche Messwerte  $x_i$ , die sich innerhalb des Schwankungsintervalls der „3-Sigma-Regel“ [11]

$$|x_i| \leq \mu \pm 3 \cdot \sigma$$

und somit innerhalb des 99%-Quantils befinden, werden als Messrauschen verworfen, da sie mit hoher Wahrscheinlichkeit zur Grundgesamtheit des systembedingten Messfehlers gehören. Alle anderen Messwerte haben die Signifikanzprüfung bestanden und werden weiterverarbeitet. Wird nun mindestens zweimal in Folge die Abweichung eines Objekts in Richtung Gleismitte festgestellt, muss davon ausgegangen werden, dass tatsächlich eine Verschiebung des Objekts stattgefunden hat. Die Basis der Methode bildet die DB-Unfallstatistik „Aufpralle auf Hindernisse“ [12], in der sämtliche Aufpralle mit zugehörigem Sachschaden und Ort des Ereignisses erfasst sind. Sie dient dazu, anhand der Häufigkeit und des Schadensausmaßes von Unfällen eine risikobasierte Methode zu entwickeln. Anhand der Klassifizierung wird zunächst der Objekttyp bestimmt und anschließend in Abhängigkeit vom Streckentyp, der sich aus der Kombination der Streckeneigenschaften *elektrifiziert/nicht elektrifiziert* und *ingleisig/zweigleisig* ergibt, ein Risikowert ermittelt. Anhand des DB-Streckenregisters kann ermittelt werden, um welchen Streckentyp es sich handelt. Die DB-Statistik wird zunächst von statistischen Ausreißern befreit und anschließend anhand der vorhandenen Größen eine Risikobewertung vorgenommen. Bild 6 stellt diesen Prozess dar. Eine Normierung der Risikowerte  $R_i$  auf den höchsten Risikowert  $R_{max}$  liefert eine Risikobewertung  $R_{\%}$  in Prozent.

$$R_{\%} = \frac{R_i}{R_{max}} \quad | \quad 3$$

Abhängig vom Risikowert wird eine Instandhaltungspriorität ausgegeben. Diese wird dem Alv als Ampel dargestellt.

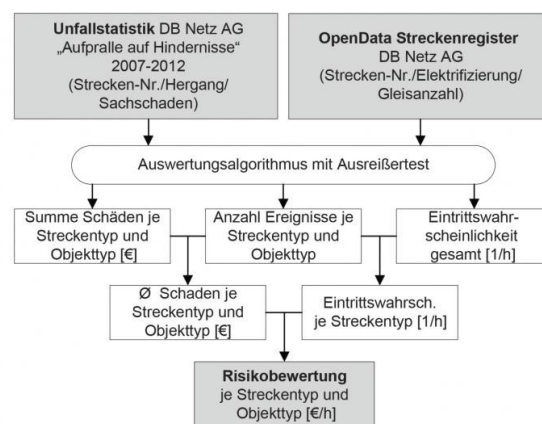


Bild 6: Prozess der Risikobewertung

## 5 Fazit und Ausblick

Durch die kontinuierliche Überwachung des Gleisumfelds werden, im Gegensatz zur zeitdiskreten Inspektion und subjektiven Rückmeldung durch Tf, eine optimale zeitliche und räumliche Koordinierung sowie eine verbesserte Planung der Instandhaltungsprozesse ermöglicht. Eine große Stärke von ZuG<sup>3D</sup> ist die Erkennung von langsamen und kontinuierlichen Veränderungen, die vom menschlichen Auge so nicht wahrgenommen werden können. Die computergestützte Analyse des Gleisumfelds unterliegt nicht subjektiven Eindrücken und kann zahlreiche Faktoren besser bewerten als der Mensch. Da der IHM aus den manuell vom Alv getätigten Eingaben lernt, wächst der „Wissensstand“ der Software kontinuierlich. Die nachfolgenden Tätigkeiten werden von durch ZuG<sup>3D</sup> unterstützt und teilweise ersetzt:

- Streckenbeobachtung durch den Tf
- Dokumentation des Anlagenzustands
- Einschätzung des Risikos von Objekten im Gleisumfeld
- Dokumentation von Unregelmäßigkeiten
- Zeitlicher Vergleich des Zustands
- Festlegen von geeigneten Maßnahmen, Fristen und Prioritäten bei Instandhaltungsmaßnahmen
- Rückmeldung der Instandhalter und Dokumentation der Kommunikation

Der Bahnverkehr insgesamt bekommt durch ZuG<sup>3D</sup> sowohl die Chance auf eine höhere Zuverlässigkeit als auch auf eine bessere Streckenverfügbarkeit und wird damit planbarer und für Kunden attraktiver. Ferner stellt ZuG<sup>3D</sup> für verschiedene Bearbeiter in unterschiedlichen Bereichen des Eisenbahnbetriebs eine

konkrete Arbeitserleichterung dar.

Und wie geht es weiter? Über den im Kapitel 4 dargestellten Horizont hinaus wird zeitnah der Algorithmus zur Datenanalyse erweitert und optimiert und in den IHM implementiert. Parallel dazu werden weitere Testfahrten durchgeführt, um den Datenkorpus für die Objektklassifizierung der Z3D zu erweitern. Abschließend wird der gesamte Technologiedemonstrator im Betrieb getestet, um den hier in Aussicht gestellten Nutzen des Assistenzsystems in der Praxis zu bestätigen. Abschließend wird konstatiert, dass die eingangs erwähnten 38.000 km Infrastruktur in Deutschland derzeit genug Potential zur Verwirklichung der Ideen aus ZuG bieten.

Anzeige



**6. Railway Forum**  
Berlin 2019

Kompetenzpartner  
**DB**

- Finden Sie Partner für Ihre Projekte im System Bahn
- Zusatzoption: Teilnahme an einer der Werksführungen am 30.09.2019

**Digital & automatisiert:  
Die Zukunftsagenda der Mobilitätsbranche**

Leitkonferenz der Bahnindustrie mit Fachaussstellung  
1. - 2. Oktober 2019 | Estrel Congress & Messe Center, Berlin

### Redner & Experten (Auswahl)



**Dr. Richard Lutz**  
Vorstandsvorsitzender  
Deutsche Bahn AG



**Uwe Günther**  
Leiter Beschaffung  
Deutsche Bahn AG



**Susanne Henckel**  
Geschäftsführerin  
VBB Verkehrsverbund  
Berlin-Brandenburg GmbH



**Michael Peter**  
CEO



**Dr. Martin Werner**  
CTO



**Michael Ziesemer**  
Präsident



**Michael Peter**  
CEO  
Siemens Mobility GmbH



**Dr. Martin Werner**  
CTO  
SPITZKE SE



**Michael Zieseemer**  
Präsident  
ZVEI - Zentralverband Elektro-  
technik- und Elektronikindustrie

Netzwerken auf höchstem Niveau: 1.100 Konferenzteilnehmer aus Management- und Fachpositionen der Transportbranche | 140 Fach- und Führungskräfte der Deutsche Bahn AG aus den Bereichen Beschaffung, Technik und den Geschäftsfeldern | 135 Aussteller in der Innovation Exhibition | 80 Partner & Sponsoren | 24 Keynotes & Fachvorträge | 6 Werksführungen | 5 Workshops, 1 Podiumsdiskussion, 1 Round-Table



Online Registrierung: [railwayforumberlin.de/anmelden](https://railwayforumberlin.de/anmelden)

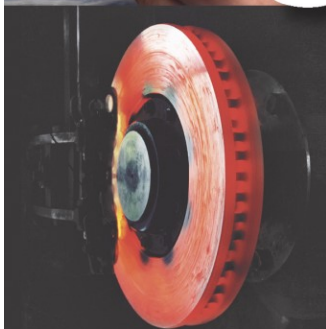
IPM AG · Institut für Produktionsmanagement · Tobias Schmidt, Partner · Schiffgraben 42 · 30175 Hannover  
Fon: +49 511 47314796 · Fax: +49 511 47314791 · E-Mail: [rfo@ipm.ag](mailto:rfo@ipm.ag)

[www.railwayforumberlin.de](https://www.railwayforumberlin.de)

## Literatur

- [1] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): mFUND – Unsere Förderung für die Mobilität 4.0. [https://www.bmvi.de/ DE/Themen/Digitales/mFund/Ueberblick/ueberblick.html](https://www.bmvi.de/DE/Themen/Digitales/mFund/Ueberblick/ueberblick.html), abgerufen am 21.01.2019.
- [2] Richtlinie (EU) 2016/797 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Mai 2016 über die Interoperabilität des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union (Neufassung).
- [3] Richtlinie (EU) 2016/798 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Mai 2016 über Eisenbahnsicherheit (Neufassung).
- [4] Allgemeines Eisenbahngesetz vom 27. Dezember 1993 (BGBl. I S. 2378, 2396; 1994 I S. 2439), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2237) geändert worden ist.
- [5] Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung vom 8. Mai 1967 (BGBl. 1967 II S. 1563), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 26. Juli 2017 (BGBl. I S. 3054) geändert worden ist.
- [6] Verordnung (EU) Nr. 1299/2014 der Kommission vom 18. November 2014 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Infrastruktur“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union.
- [7] Verordnung (EU) Nr. 1301/2014 der Kommission vom 18. November 2014 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Energie“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union.
- [8] Rahmenrichtlinie 123 der Deutschen Bahn AG, Fassung vom 01.09.2017.
- [9] Fahrdienstvorschrift Richtlinie 408 der DB Netz AG, Fassung vom 11.12.2016.
- [10] Arbeitsunterlagen des Fraunhofer IAIS, Sankt Augustin 2018.
- [11] Hedderich, J.; Sachs, L.: Angewandte Statistik. Springer Spektrum, Berlin 2018.
- [12] DB Netz AG, Unfallstatistik „Aufpralle auf Hindernisse“ (2007 bis 2017).

Anzeige



## ... UND ENTSPANNT BEI VOLLEM TEMPO DANK BREMSTECHNOLOGIE VON KNORR-BREMSE.

Moderne Hochgeschwindigkeitszüge benötigen angesichts höchst anspruchsvoller Betriebsbedingungen auch modernste Bremsen-technik, um eine präzise und zuverlässige Bremswirkung gewährleisten zu können. Die neuesten Systeme von Knorr-Bremse sind umweltfreundlich, kompakt und auf maximale Betriebssicherheit ausgelegt.

| [www.knorr-bremse.com](http://www.knorr-bremse.com) |



**KNORR-BREMSE**



---

Anzeige

Gedruckt für Eisenbahn-Bundesamt , Bonn, E-Mail: [bergmanns@dzhf.bund.de](mailto:bergmanns@dzhf.bund.de) (ZEVrail User ID: 2261) am 27. März 2020 - 16:15



HOCHLEISTUNG | PRÄZISION | ZUVERLÄSSIGKEIT

**Plasser & Theurer**

## Smart Maintenance, mehr als virtuelle Realität



**PlasserSmartMaintenance**  
MACHINE • FLEET • INFRASTRUCTURE

Die Digitalisierung des Fahrwegs schreitet mit Riesenschritten voran. Entwickler von Plasser & Theurer arbeiten intensiv im Labor und unter praxisnahen Bedingungen. Direkt am Gleis dient der EM100VT als Forschungsumgebung und Plattform zur Erprobung neuer Systeme. Die gesammelten Praxiserfahrungen fließen in bahntaugliche digitale Produkte mit hoher Alltagstauglichkeit ein, die den Funktionsumfang Ihrer Gleisbaumaschine schon bald erweitern können.



[www.plassertheurer.com](http://www.plassertheurer.com)  
„Plasser & Theurer“, „Plasser“ und „P&T“ sind international eingetragene Marken

Gedruckt für Eisenbahn-Bundesamt , Bonn, E-Mail: [bergmanns@dzhf.bund.de](mailto:bergmanns@dzhf.bund.de) (ZEVrail User ID: 2261) am 27. März 2020 - 16:15