

ZuG – ein Schritt zum automatisierten Fahren von Zügen

ZuG – one Step towards Automatic Train Operation

Klasek, Pavel¹, Heizler, Felix², Strobel, Timo², Tavakolinik, Hamidreza²

¹Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt

²Institut für Maschinenelemente, Universität Stuttgart

Zusammenfassung

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 ein videobasiertes System können Instandhaltungsbedarfe entlang einer Bahnstrecke objektiv und unabhängig von Meldungen durch den Triebfahrzeugführer ermittelt werden. Dadurch wird der Prozess der Instandhaltung des Gleisumfelds einfacher und transparenter. Im Förderprojekt „Zustandsüberwachung des Gleisumfelds“ (ZuG) des Modernitätsfonds des Bundesministeriums für Verkehr und Digitale Infrastruktur wird das Infrastruktur-Assistenzsystem ZuG^{3D} zur Überwachung und Instandhaltung des Gleisumfelds als Technologiedemonstrator entwickelt. Darüber hinaus werden rechtliche und normative Anforderungen für einen Einsatz beim automatisierten/autonomen Fahren bei Vollbahnen untersucht.

Keywords: ZuG; Zustandsüberwachung des Gleisumfeldes; Instandhaltung; Automatisierung des Bahnbetriebs; Umfeldsensorik, ATO

1 Einleitung

Die Eisenbahninfrastruktur in Deutschland umfasst rund 38.000 Kilometer. Die Aufgabe von Eisenbahn-Infrastrukturunternehmen (EIU) ist die Bereitstellung der Infrastruktur gemäß der betrieblichen, technischen und rechtlichen Anforderungen der Eisenbahn-Ver-

kehrunternehmen (EVU) und des Gesetzgebers. Im Vordergrund stehen dabei die Faktoren Sicherheit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit. Für die Sicherstellung dieser Faktoren ist die Instandhaltung notwendig, die nicht nur den Gleiskörper mit Unter- und Oberbau, sondern auch das Umfeld der Gleise umfasst.

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Nutzung von digitalen Technologien und der allgegenwärtigen Verfügbarkeit von Daten – z. B. aus dem autonomen Fahren (Automatic Train Operation, ATO) – wird im Projekt Zustandserfassung des Gleisumfelds (ZuG) ein Assistenzsystem für die Instandhaltung des Gleisumfelds und damit eine teilautomatisierte Software-Lösung geschaffen [1]. Diese soll in Zukunft eine effizientere und zugleich bedarfsgerechtere Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen ermöglichen. Als Datenquelle sollen Videoaufzeichnungen aus dem Blickwinkel des Triebfahrzeugführers genutzt werden, die durch das automatisierte Fahren ohnehin vorhanden sein werden.

Beteiligt am Projekt sind die Partner ASCI Systemhaus GmbH, DB RegioNetz Verkehrs GmbH in Kooperation mit der DB RegioNetz Infrastruktur GmbH (DB RNI) Erzgebirgsbahn, Fraunhofer Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme und die Professur für Schienenfahrzeugtechnik an der Universität Stuttgart (IMA). Die Projektleitung liegt beim Eisenbahn-Bundesamt. Testfeld ist die Strecke 6624 „Annaberg-Buchholz Süd – Schwarzenberg“ der DB RNI Erzgebirgsbahn.

2 Rechtliche Grundlagen

Das Projekt ZuG 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. Einige relevante Aspekte des Rechtsrahmens werden im Folgenden erläutert.

2.1 Streckenbeobachtung durch den Triebfahrzeugführer

Derzeit fordert § 45 (1) und (2) der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) ausdrücklich, dass arbeitende Triebfahrzeuge mit einem Triebfahrzeugführer (Tf) zu besetzen sind, welcher sich während der Fahrt im Führerstand befinden muss [2]. Gemäß Fahrdienstvorschrift der Deutschen Bahn (DB) müssen „gefährdende Umstände“ (Ril 408.0541) gemeldet und die „Strecke durch den Tf beobachtet“ (Ril 408.2341) werden [3]. Abgesehen von der Fahrzeugsteuerung ist es eine weitere wichtige Aufgabe des Tf, das Gleisumfeld zu beobachten und gegebenenfalls Auffälligkeiten an den Fahrdienstleiter zu melden oder das Fahrzeug anzuhalten. Diese Information durch den 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 autonomen Fahrens, bei dem sich im Regelbetrieb kein Tf mehr im Führerstand befindet, muss die aus dieser Pflicht resultierende Tätigkeit durch eine technische Lösung realisiert werden. Dies ist vornehmlich in der dritten und vierten Stufe der oft verwendeten Einteilung des Automatisierungsgrades GoA (Grade of Automation) erforderlich. Ein wesentlicher Nutzen des Projekts ZuG kann sein, dass die oben genannten Aufgaben des Tf bei Vorhandensein entsprechender Nachweise ersetzt werden können. Zentrale Anwendung von ZuG ist die frühzeitige Erkennung des Risikopotenzials von Objekten im Gleisumfeld. Durch die gezielte Durchführung von Maßnahmen kann das Risiko des Auftretens einer Gefährdung minimiert werden.

2.2 Instandhaltungsprozesse

Die Instandhaltungsprozesse der Eisenbahn-Infrastruktur sind in einer Vielzahl von betriebsinternen, nationalen und europäischen Regelwerken festgelegt. Europäische Richtlinien, wie z. B. die 2016/797/EU [4] und die 2016/798/EU [5], beschreiben vor allem allgemeine Anforderungen an Sicherheit, Gefährdungserkennung und Risikomanagement des Systems Bahn. Auf nationaler Ebene verpflichtet das Allgemeine Eisenbahngesetz (AEG) [6] dazu, dass die Eisenbahninfrastruktur den „Anforderungen der öffentlichen Sicherheit an den Betrieb“ genügen muss. Die Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) [2] sowie die Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität für die Teilsysteme Infrastruktur (TSI INF) [7] und Energie (TSI ENE) [8] 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 Deutschen Bahn (DB Ril) definiert.

3 Systembeschreibung

Die Zustandsüberwachung des Gleisumfeldes kann mittels ZuG^{3D} Assistenzsystem erfolgen, welches das Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) bei der Erfüllung seiner Aufgaben zur vertragsgerechten Bereitstellung der Infrastruktur an das Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) unterstützt. Im Projekt liegt das Hauptaugenmerk des Systems in der verbesserten Planung, Nachweisführung und Dokumentation der Instandhaltungs- oder Pflegemaßnahmen im Gleisumfeld.

3.1 Logische Systemkomponenten

Beim ZuG^{3D}-Infrastruktur-Assistenten handelt es sich nicht um ein Fahrerassistenzsystem, sondern um ein Assistenzsystem für eine regelmäßige, objektive und effiziente Instandhaltung des Gleisumfeldes. Das Gesamtsystem des Infrastruktur-Assistenten besteht logisch aus zwei Subsystemen (siehe Abbildung 28):

- Zentrale 3D-Einheit (Z3D) und
- Instandhaltungs-Manager (IHM).



Abbildung 28: Gesamtsystem und Subsysteme

Während jeder Befahrung eines Gleisabschnitts werden Videodaten aus dem Blickwinkel des Triebfahrzeugführers aufgezeichnet und auf einem Datenspeicher im Triebfahrzeug abgelegt. Die Videodaten werden auf ein zentrales Rechnersystem (Z3D) übertragen, welches anhand des Structure-from-Motion Verfahrens und durch Deep-Learning-Methoden das Videomaterial analysiert und auswertet.

Die Structure-from-Motion Methode wandelt die Quelldaten in das dreidimensionale Punktwolkenystem in die Form eines 3D-Geländemodelles um. Nach der automatischen Erzeugung von zwei deckungsgleichen Punktwolken werden diese untereinander verglichen und auf Verletzungen und Abweichungen im definierten Schutzraum geprüft. Deep-Learning-Methoden werden für die Objektklassifizierung verwendet.

Im Projekt wurden diverse Versuchsaufbauten entwickelt, die einige Situationen oder Zustand der Gleisumgebung simulieren. Durch dokumentierte Variation von Objekten im gleisnahen Umfeld ist Videomaterial erzeugt, welches für die 3D-Geländemodelle und deren Auswertung unterschiedliche Anwendungsfälle ermöglicht. Die Objekte im gleisnahen Umfeld sind auf drei Aufstellflächen entlang der Strecke platziert und nach einzelnen Vorbeifahrten des Testzuges manipuliert. Es handelt sich um ein Model einer Bahnsteigkante und um eine gelbe, bzw. grüne Tonne.

Die Ergebnisse der Auswertung der Videodaten werden mit den Versuchsobjekten konfrontiert und ermöglichen uns im weiteren Ablauf des Projektes konkrete Aussagen zur Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Methoden zu ermitteln.

Das Ziel des Instandhaltungs-Managers (IHM) ist es, die Mitarbeiter der Instandhaltung und den Anlagenverantwortlichen bei der Steuerung und Dokumentation des Instandhaltungsprozesses im Gleisumfeld zu unterstützen. Alle durch das System automatisierten und vorgeschlagenen Vorgänge sind jedoch durch den Anlagenverantwortlichen zu kontrollieren und gegebenenfalls durch eigene Inspektionsfahrten zu überstimmen. Der IHM dient gleichzeitig als einheitliche Plattform, um sämtliche Meldungen des Tf zu Unregelmäßigkeiten im Gleisumfeld zu speichern.

3.2 Systemfunktionen auf Prozessebene

Die technische Lösung des Projekts sieht vor, eine Kamera frontal in jeder Fahrtrichtung auf einem Triebfahrzeug zu montieren. Abbildung 29 stellt die wesentlichen Systemfunktionen auf Prozessebene dar.

Die erzeugten Videodaten werden zu einem späteren Zeitpunkt für die weitere Bearbeitung übertragen. Aus den Daten werden 3D-Geländemodelle der aufgenommenen Strecke berechnet. Anhand dieser 3D-Modelle können die Lage und die Position von Objekten bestimmt werden. Durch die Vielzahl von Aufzeichnungen über einen längeren Zeitraum können Abweichungen in der Lageposition von Objekten erkannt und bewertet werden. Dabei werden nur Objekte überwacht, die sich innerhalb eines definierten Bereichs befinden, dem sogenannten ZuG^{3D}-Schutzraum. Zu den Objekten zählen bauliche Strukturen wie Masten, Bahnsteigkanten oder Böschungen, sowie Vegetation (Bäume, Sträucher).

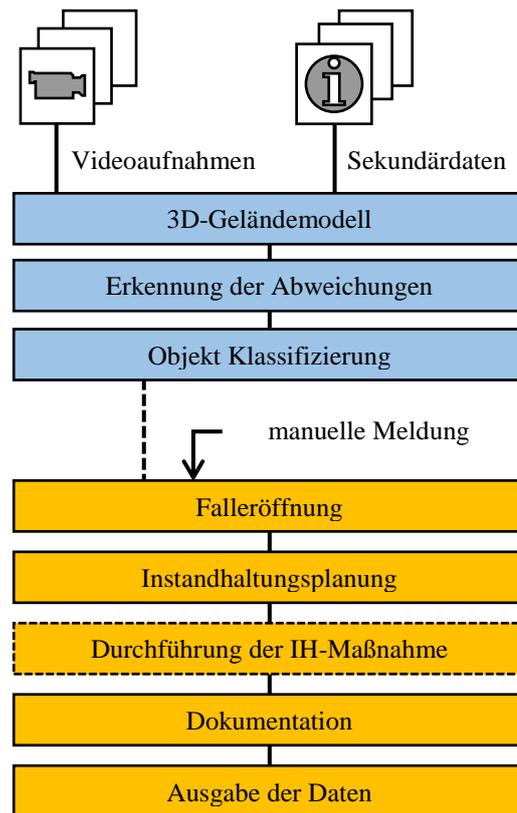


Abbildung 29: Prozessablaufdiagramm

Überschreitet die erkannte Abweichung einen Schwellwert, wird das Objekt auf Grundlage einer Risikoanalyse mit einem Risikofaktor eingestuft. Die Daten dieser kritischen Objekte werden in die Fallbearbeitung übergeben und dem Anwender alle relevanten Informationen über die Abweichungen angezeigt. Damit bekommen Anwender die Möglichkeit, einen erforderlichen Instandhaltungsbedarf direkt aus dem ZuG^{3D}-Assistenzsystem abzuleiten.

Bei erkannter oder gemeldeter Abweichung wird im IHM eine digitale Fall-Akte angelegt, auf deren Basis die Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführt und welche im Laufe des Instandhaltungsprozesses vervollständigt und dokumentiert werden. Die für den IHM notwendigen Eingangsgrößen werden durch definierte Schnittstellen aus der Z3D-Einheit, sowie aus verfügbaren Sekundärdaten (z.B. Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes) ermittelt.

Zu den betrieblichen Anwendungsfällen gehören die „Streckenbeobachtung durch Tf“, „Beobachtung durch Dritte“ sowie sämtliche Inspektionsmaßnahmen (wie z. B. Begehung, Befahrung, Regelinspektion, u.a.). Alternativ kann ein Fall auch manuell angelegt werden. Die technische Lösung des IHM erfolgt als Web-Anwendung, die unabhängig

von der eingesetzten Hardware und von den entsprechenden Betriebssystemen der Hardwarekomponenten ist.

Für die Erstellung eines Instandhaltungsfalls müssen folgende Voraussetzungen erfüllt werden:

- Erfassung der Rohdaten der Infrastruktur mit einem Videosystem,
- Erzeugen eines 3D-Geländemodells aus den Rohdaten,
- Abgleich mit den Schutzraum-Sollvorgaben für die Abgrenzung des Gleisumfeldes und
- Vergleich eines aktuellen 3D-Geländemodells mit einem oder mehreren Referenz-3D-Geländemodellen (T_x -Modell zu T_0 -Modell).

4 Einsatzpotenzial

Die Ergebnisse des Demonstrators ZuG^{3D} sollen in folgenden Bereichen einen signifikanten Beitrag zur Verbesserung des bestehenden Prozesses darstellen.

- Unterstützung der Planung und Dokumentation von Instandhaltungsarbeiten
- Objektive und kontinuierliche Erfassung der Objekte im Gleisumfeld
- Auswertung des Risikopotenzials von Objekten, die eine Strecke, bzw. einen Zug gefährden können
- Erhöhung der Zuverlässigkeit und der Verfügbarkeit der Strecken

4.1 Anpassung des regulatorischen Rahmens

Die Verwendung von einem System zur Überwachung des Gleisumfeldes ist ein wesentlicher Bestandteil eines ATO-Systems. Der Einsatz vom autonomen Fahren gemäß Automatisierungsgrad GoA3 oder GoA4 erfordert Änderungen der bestehenden Regeln und Vorschriften, hauptsächlich in Bezug auf die Übernahme von Aufgaben des Triebfahrzeugführers.

ZuG^{3D} kann an dieser Stelle den Beitrag dazu leisten, die Teilaufgabe der Streckenbeobachtung durch den Tf zu unterstützen und künftig zu übernehmen. Da das System keine Funktionalität zur Hinderniserkennung auf dem Gleis oder zur Steuerung eines Triebfahrzeuges aufweist, müssen diese Aufgaben in einem ATO-System gelöst werden.

Für den zukünftigen Einsatz der Technologie des ZuG-Projekts könnte der rechtlichen Rahmen oder das betrieblich-technische Regelwerk an relevanten Stellen angepasst bzw. neu erfasst werden. Die potenzielle Anpassung kann auch Vorschriften des DB Regelwerks betreffen. Die Einführung einer neuen Inspektionsart wie z.B. einer „kamerabasierten Überwachung“ kann ein Potenzial für andere Stellen im Regelwerk bringen, beispielweise für den Einsatz bei der Gleisbefahrung oder bei der Überwachung der vom

Gleis aus einsehbarer Vegetation. Es muss dabei gewährleistet sein, dass alle Funktionen und Prozesse sicher übernommen werden.

Beim Einsatz eines ATO-Systems werden darüber hinaus weitere Anpassungen des Regelwerks zu Anforderungen an Systeme für die Hinderniserkennung und die Überwachung des Gleisumfelds benötigt, die die Aufgaben der Fahrzeugsteuerung und der Streckenbeobachtung anstelle des Tf ausüben werden.

5 Fazit

Durch die kontinuierliche Überwachung des Gleisumfelds werden, im Gegensatz zur zeitdiskreten Inspektion und subjektiven Rückmeldung durch den Tf, eine optimale zeitliche und räumliche Koordinierung sowie eine verbesserte Planung der Instandhaltungsprozesse ermöglicht. Die technische Lösung ZuG^{3D} liefert als Ergebnis die Erkennung von langsamen und kontinuierlichen Veränderungen, die während einer klassischen Zugvorbeifahrt 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 digitale Instandhaltungsmanager aus den manuell vom Anlageverantwortlichen getätigten Eingaben lernt, wächst der „Wissensstand“ der Software kontinuierlich. Tätigkeiten wie

- die Streckenbeobachtung durch den Tf,
- die Einschätzung des Risikos von Objekten im Gleisumfeld und
- die Dokumentation des Anlagezustands zusammen mit einem zeitlichen Vergleich

werden durch ZuG^{3D} unterstützt und teilweise ersetzt. Eine Erweiterung der verwendeten kamerabasierten Sensorik, z.B. durch ähnliche Ansätze oder eine Sensorkombination, könnte für die Ergebnisse und deren Verwertung von großer Bedeutung werden. Eine breite Diskussion der Ergebnisse erfolgt erst in der letzten Phase des Projektes.

Die Weiterentwicklung des Systems und die Anwendung auf der Teststrecke werden die nächsten Herausforderungen dieses Forschungsprojekts aufzeigen. Ein Langzeiteinsatz im Betrieb wird dazu beitragen, das Potenzial und die Ergebnisse zu evaluieren. Darüber hinaus können die Weichen in Richtung Zulassung von technischen Systemen, welche konkrete Aufgaben des Triebfahrzeugführers übernehmen, zeitgemäß gestellt werden. Zielorientierte Diskussionen, Analysen und Anpassungen des geltenden gesetzlichen Rahmens auf nationaler und internationaler Ebene können zu einem Einsatz der Steuerungssysteme im Sinne des autonomen Fahrens führen.

6 Literatur

- [1] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): Zustandsüberwachung des Gleisumfeldes mittels Generierung und Analyse von 3D-Videodaten ZuG. <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/zustandsueberwachung-des-gleisumfeldes-zug.html>, abgerufen am 22.03.2019.
- [2] 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.
- [3] Fahrdienstvorschrift Richtlinie 408 der DB Netz AG, Fassung vom 11.12.2016.
- [4] Richtlinie (EU) 2016/797 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Mai 2016 über die Interoperabilität des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union (Neufassung).
- [5] Richtlinie (EU) 2016/798 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Mai 2016 über Eisenbahnsicherheit (Neufassung).
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.

Autoren

Klasek, Pavel

Dipl.-Ing. (29), 2009 bis 2015 Studium der Elektrotechnik an der Technischen Universität Brunn, Tschechien. 2014 Studium an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. 2015 bis 2017 Durchführung diverser Projekte in den Bereichen Elektrotechnik und Automotive, u.a. bei Škoda Auto a.s. und Volkswagen AG. Seit 2018 Referent im Eisenbahn-Bundesamt und im Deutschen Zentrum für Schienenverkehrsforschung. E-Mail: klasekp@dzsf.bund.de

Felix Heizler

M. Sc. (23), 2013 bis 2018 Studium des Verkehrsingenieurwesens an der Universität Stuttgart. Seit November 2018 Akademischer Mitarbeiter am Institut für Maschinenelemente. Durchführung diverser Projekte in den Bereichen Digitalisierung des Bahnbetriebs und Risikoanalysen. E-Mail: felix.heizler@ima.uni-stuttgart.de

Strobel, Timo

M. Sc. (29), 2009 bis 2015 Studium des Maschinenbaus an der Universität Stuttgart. Seit November 2015 Akademischer Mitarbeiter am Institut für Maschinenelemente. Durchführung zahlreicher Projekte in den Bereichen Digitalisierung des Bahnbetriebs, Übertragbarkeit von Kfz-Komponenten auf Schienenfahrzeuge, Risikoanalysen und Fahrerassistenzsysteme zur Hinderniserkennung. E-Mail: timo.strobel@ima.uni-stuttgart.de

Tavakoli, Hamid

M. Sc. (33), 2009 bis 2011 Masterstudium der Telekommunikation, 2006 bis 2008 Bachelorstudium der Elektronik an der Teheran-Süd Universität. Durchführung diverser Projekte in den Bereichen Elektrotechnik, Steuerung, drahtloser Messdatenübertragung der Schienenfahrzeuge, Digitalisierung, Softwaresysteme für Bahnsektor sowie Gleisgeometriemessfahrzeuge u. a. bei Mokarrar Industrial Group und seit Januar 2017 als Akademischer Mitarbeiter am Institut für Maschinenelemente der Universität Stuttgart. E-Mail: hamid.tavakoli@ima.uni-stuttgart.de