

Optimierte Planung der Schienenprüfung

Eine effiziente und verlässliche Zustandsüberwachung sowie Instandhaltung der Schieneninfrastruktur ist unerlässlich, um die Bahn – auch vor dem Hintergrund einer weiteren Verlagerung von Transporten auf die Schiene – als sicheren und zuverlässigen Verkehrsträger zu betreiben. Die Schienenprüfung erfolgt dabei bisher zumeist nach präventiven Konzepten. Neue Ansätze zur Teilautomatisierung der Planung von Prüffahrten und Auswertung von Prüfergebnissen werden aktuell untersucht.



Das Schienennetz in Deutschland ist in vielen Teilen hoch ausgelastet und gilt auf einigen Korridoren bereits als überlastet. Vor dem Hintergrund der Stärkung des Verkehrsträgers Schiene mit Steigerungen der Verkehrsleistung im Personen- und Güterverkehr rückt neben dem Ausbau der Schieneninfrastruktur auch deren Zustandsüberwachung weiter in den Fokus. Neben der Überwachung der Gleisgeometrie und der Fahrdrachtmessung wird auch die Schiene hinsichtlich ihrer Materialbeschaffenheit auf Unregelmäßigkeiten geprüft. Um das jährliche Volumen von knapp 90.000 zu inspizierenden Gleis-Kilometern in der Schienenprüfung zu bewältigen, kommen spezielle Schienenprüfzüge zum Einsatz, die mittels Ultraschall- und Wirbelstromprüfverfahren die Schienen auf Fehlerstellen untersuchen.

Die Schienenprüfung ist dabei Teil einer präventiven Instandhaltungsstrategie, nach der auf festgelegten Streckenabschnitten in jeweils regelmäßigen, nach Regelwerk definierten Zeitabständen Prüffahrten durchgeführt werden. Die dabei aufgezeichneten Daten werden von Auswertern gesichtet und auf mögliche Defekte untersucht. Zusätzlich werden auch Handprüfungen direkt am Gleis durchgeführt. Im Falle von befundeten Defekten werden je nach Art und Ausprägung entsprechende Instandhaltungsmaßnahmen, z. B. Schienenschleifen oder Austausch einzelner Schienenabschnitte durchgeführt.

Der gesamte Prozess der Schienenprüfung kann derzeit nur in Teilen automati-

siert ablaufen; besonders die Auswertung der bei den Inspektionsfahrten aufgezeichneten Prüfdaten lässt häufig nur ungenaue Rückschlüsse zu. Viele in den Daten vermutete Defekte stellen sich bei der nachgelagerten Handprüfung am betreffenden Schienenabschnitt als unbegründet heraus. Um diesen Defiziten entgegenzuwirken, bearbeitet das Deutsche Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF) beim Eisenbahn-Bundesamt derzeit gemeinsam mit den Partnern TU Berlin, DB InfraGO, Bundesanstalt für Materialprüfung, zedas und Vrana das Forschungsprojekt AIFRI [1]. Hierin wird eine auf Künstlicher Intelligenz basierte Analyse von Schienenprüfdaten zur Fehlerdetektion, Fehlerbewertung und Optimierung der Instandhaltungsplanung untersucht und erprobt. Bestandteil der Aufgaben des DZSF im Projekt ist es, die Einsatzplanung der Schienenprüfzüge als Ausgangspunkt des Prüfprozesses zu betrachten.

Für diese Einsatzplanung wird zum einen analysiert, inwiefern sich mithilfe mathematischer Optimierung Vorschläge für die Umläufe der Züge bestimmen lassen um sowohl die Planungsqualität zu verbessern als auch den Planungsvorgang an sich effizienter zu gestalten. Zum anderen wird konzeptionell untersucht, wie sich die derzeitige präventive Strategie mit festen Prüfintervallen durch Rückschlüsse aus der KI-Auswertung in Richtung einer prädiktiven Instandhaltung (Predictive Maintenance, PM) mit risikobasierten Prüfzeitpunkten entwickeln könnte.



Maximilian Selch, M.Sc.

Projektreferent KI-basierte Analyse von Schienenprüfdaten (AI For Rail Inspection, AIFRI), Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung
SelchM@dzsf.bund.de



Dipl.-Math. oec. Axel Simroth

Referent Predictive Maintenance, Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung
SimrothA@dzsf.bund.de



Dipl.-Ing. (FH) Stefan Fischer

Leiter Messzugeinsatz Schienenprüfung, DB InfraGO AG

1. Planung, Ablauf und Auswertung von Prüffahrten

Abhängig von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit muss jeder Streckenabschnitt in regelmäßigen Zeitintervallen von 4 bis 24 Monaten geprüft werden, sodass jeder Abschnitt einen oder mehrere Sollprüfmonate hat. Die Entscheidung, welcher Abschnitt von welchem Prüfzug an welchem Tag abgefahren wird, treffen Mitarbeiter in der Einsatzplanung der Schienenprüfzüge. Dies erfolgt in Abstimmung mit dem Fahrplanbüro, um Sperrzeiten einzelner Strecken und verfügbare Trassen zu beachten. Am Ende stehen die Umläufe der Schienenprüfzüge, welche die ausgewählten Strecken mit einer Prüfgeschwindigkeit von maximal 70 km/h befahren.

Die Züge sind mit zwei verschiedenen Prüfsystemen ausgestattet. Mittels Ultraschall wird der Schienenkörper auf innere Fehler geprüft. Ergänzend werden Wirbelstromprüfköpfe eingesetzt, um die Oberfläche des Schienenkopfes auf Defekte zu untersuchen. Für spezielle Fehlertypen wie etwa feine Risse an der Schienoberfläche, sogenannte Head-Checks, werden die Daten aus beiden Prüfsystemen kombiniert herangezogen.

Die während der Fahrt aufgezeichneten Daten beider Prüfsysteme werden von Auswertern auf charakteristische Anzeigemuster befundet. Sie halten die Stellen ihrer Fehlervermutungen mit der Art des jeweiligen Schienenfehlers und dessen Lage auf der betreffenden Strecke in einem Protokoll fest. Diese möglichen Defektstellen werden im Nachgang vor Ort per Handgerät überprüft, wonach im Falle eines tatsächlich vorhandenen Schienenfehlers dessen genaue Position und Ausmaß dokumentiert wird.

Die detektierten Schienenfehler werden je nach ihrer Größe in bis zu fünf Fehlergrade eingeteilt, welche gleichzeitig die zur Behebung des Schadens notwendige Maßnahme bestimmen. So können Schäden niedrigerer Fehlergrade durch Abfräsen oder Auftragsschweißen beseitigt werden, wohingegen bei Schienenfehlern höheren Grades entsprechende Stellen der Schiene gewechselt werden müssen. Daneben haben hohe Fehlergrade auch zur Folge, dass bis zur Behebung zusätzlich Langsamfahrstellen eingerichtet werden müssen, was sich direkt auf die Kapazität und Pünktlichkeit im betroffenen Streckenabschnitt auswirkt.

Aktuell ist der Prozess der Schienenprüfung an vielen Stellen von rein manueller



1: Kartendarstellung der Prüfabschnitte (rot) und Überführungswege (blau) als Shapefiles in Qgis

Arbeit geprägt. Lediglich für die Auswertung der Ultraschalldaten wird eine Software eingesetzt, die Streckenabschnitte ohne relevante Anzeigenmuster in den Daten herausfiltert, sodass der Auswerter nicht jeden einzelnen Meter Strecke sichten muss. In der Praxis stellen sich jedoch noch viele von der Software hervorgehobene Abschnitte als unbegründete oder unklare Fehlervermutung heraus, wodurch die Auswerter eine Vielzahl an falsch-positiven Fehlerbildern bewerten müssen.

2. Assistenz zur Planung von Zugumläufen mit mathematischer Optimierung

Modelle der mathematischen Optimierung werden in vielen Bereichen zur Lösung von Entscheidungsproblemen eingesetzt. In Bezug auf die Schienenprüfung finden

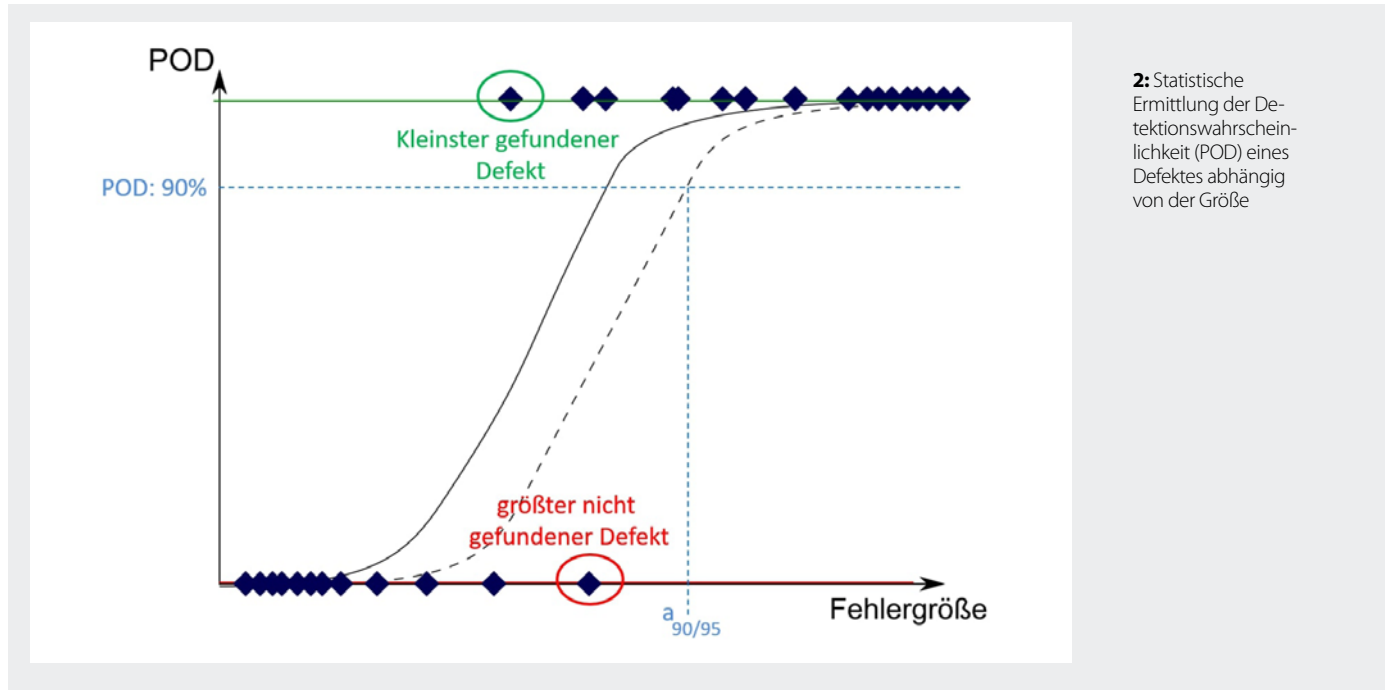
sich solche Probleme am Ausgangs- und am Endpunkt des gesamten Prüfprozesses. Während am Endpunkt – der eigentlichen Instandhaltungsplanung – Fragen im Fokus stehen, welche Maßnahmen mit welchen Ressourcen zu welcher Zeit auf welchem Streckenabschnitt durchgeführt werden sollen, stehen am Anfangspunkt des Prozesses die Umläufe der Schienenprüfzüge zur Disposition.

Ausgehend von einer Personalbasis sind die Fahrwege der Schienenprüfzüge innerhalb eines Monats so zu planen, dass möglichst alle in diesem Zeitraum zu prüfenden Streckenabschnitte befahren werden. Dabei werden Zugumläufe von etwa fünf bis sechs Tagen Dauer gebildet, auf denen Prüf- und Überführungsstrecken von jeweils vorgegebenen maximalen Längen gefahren werden können.

Diese Ausgangssituation weist viele Parallelen mit dem sogenannten Vehicle Routing Problem (VRP) auf, welches für verschiedenste mathematische Modellierungen der Tourenplanung verwendet wird. Ursprünglich wurde es für den Warentransport genutzt und diente zur Bestimmung, welche Kunden bzw. Filialen in welcher Reihenfolge mit einem bestimmten Gut beliefert werden. Hierbei sind für alle zur Lieferung verfügbaren Fahrzeuge die insgesamt kürzesten Routen zu ermitteln, mit denen alle Kunden pünktlich beliefert und die Warenkapazitäten der Fahrzeuge eingehalten werden. Alle Touren starten und enden dabei an einem festen Depot.

Übertragen auf die Planung der Schienenprüfung zeigen sich viele Analogien. So

Nicht zuletzt lassen sich auch strategische Fragen beantworten, etwa wo regelmäßig Abstellmöglichkeiten vorgehalten werden oder an welchen Stellen Depots liegen sollten, die einen günstigen Ausgangs- bzw. Endpunkt vieler Umläufe darstellen.



2: Statistische Ermittlung der Detektionswahrscheinlichkeit (POD) eines Defektes abhängig von der Größe

lassen sich die Schienenprüfzüge als Lieferfahrzeuge interpretieren. Deren Kapazität entspricht dabei der während eines Tages oder Umlaufes leistbaren Fahrstrecke. Die zu beliefernden Kunden sind in diesem Fall die Prüfabschnitte und deren Bedarfe entsprechen den Längen der jeweils zu prüfenden Strecke. Als Zielstellung lassen sich neben einer minimalen Gesamtfahrstrecke aller Prüfzüge innerhalb eines betrachteten Prüfmonats noch weitere Kriterien verfolgen: Nicht jeder Prüfzug ist durchgehend verfügbar und auch beim Personal kann es krankheitsbedingt zu kurzfristigen Ausfällen kommen. So kommt es häufig zum Störfallmanagement, wobei entschieden wird, welche geplanten Umläufe aufgebrochen werden müssen, um ausgefallene Prüfabschnitte noch innerhalb der vorgeschriebenen Fristen nachzuholen.

Nicht zuletzt lassen sich bei weiterer Betrachtung auch strategische Fragen beantworten, etwa wo regelmäßig Abstellmöglichkeiten vorgehalten werden oder an welchen Stellen Depots liegen sollten, die einen günstigen Ausgangs- bzw. Endpunkt der Umläufe darstellen.

3. Umsetzung einer Planungssoftware

Da in der Schienenprüfung die Informationen zu den Prüfabschnitten hauptsächlich in Listenform vorliegen, besteht der erste Schritt in einer Implementierung einer Kartendarstellung der einzelnen Abschnitte

und der verbindenden Überführungswege zwischen zwei Prüfstrecken, die nacheinander eingetaktet werden. Dies geschieht auf Grundlage von vektoriellen Geodaten (Shapefiles) des Schienennetzes aus dem Open-Data-Portal der Deutschen Bahn. Die Prüfabschnitte werden als gerichtete Streckenabschnitte mit ihrem jeweiligen Start- und Endpunkt ebenfalls als Shapefiles generiert und abgespeichert.

Mittels eines Kürzester-Pfad-Algorithmus vom Endpunkt des ersten zum Startpunkt des zweiten Abschnittes werden die Überführungswege zwischen zwei Prüfstrecken bestimmt. Dies muss einmalig vorab für jedes Paar von Prüfabschnitten berechnet werden. Die Ergebnisse werden in einer Kostenmatrix zusammengetragen, wobei die Kosten einer Überführungsfahrt der Distanz zwischen den jeweiligen Abschnitten entspricht.

Aufbauend auf diesen Vorberechnungen können nun Vorschläge für die Umläufe der Prüfzüge bestimmt werden. Als erstes Berechnungsbeispiel wurden 67 Abschnitte eines Sollprüfmonats im Regionalbereich Nord umgesetzt. Dazu wurde das VRP mit dem Ziel, die Gesamtfahrstrecken zu minimieren, aufgestellt und fünf Umläufe für den entsprechenden Monat bestimmt. Diese Umläufe gehen von einem Depot in Minden aus, wo die Schienenprüfung beheimatet ist. Zu den vorgeschlagenen Routen werden jeweils Angaben zur reinen Prüfstrecke, der summierten

Überführungsstrecke und der Gesamtlänge des Umlaufes angegeben. Bild 1 zeigt eine beispielhafte Tour mit Start und Ziel in Minden.

Im Nachgang können diese Vorschläge vom Personal im Planungsbüro analysiert und angepasst werden; besonders in der Kommunikation mit dem Fahrplanbüro sind Anpassungen häufig unumgänglich. Aus den Rückmeldungen können wiederum neue Vorschläge bestimmt werden, sodass sich ein iterativer Prozess zwischen der Routenberechnung und dem Planungsbüro ergeben kann.

Perspektivisch ist es denkbar, Daten zu den Streckenverfügbarkeiten mit Berücksichtigung von Sperrungen und Instandhaltungsmaßnahmen direkt in die Routenberechnung zu integrieren und damit einige grundlegende Anforderungen in der Fahrplanaufstellung automatisch zu erfüllen.

4. Ausblick auf eine PM-Strategie mittels KI-Auswertung

Der Einsatz von Künstlicher Intelligenz wird in der Schienenprüfung zum einen erprobt, um den Prozess der Auswertung der Prüfdaten effizienter zu gestalten. Aus den Rohdaten werden dann nur die kritischen Stellen herausgefiltert, an denen aufgrund von charakteristischen Messwerten mit hoher Wahrscheinlichkeit Schienenfehler vorliegen. Hierfür wird mit Autoencodern

gearbeitet, die darauf spezialisiert sind, gutartige – also fehlerfreie – Eingabedaten als solche zu erkennen und rekonstruieren zu können. Werden nun einem Autoencoder die Prüfdaten eines Schienenfehlers vorgelegt, funktioniert diese Rekonstruktion nicht mehr, wodurch auf das Vorhandensein eines Defekts geschlossen werden kann. Dieser Prozess der Vorfilterung von kritischen Prüfdaten konnte mit den bei Schienenprüffahrten aufgezeichneten Daten bereits erfolgreich getestet werden [2]. Derzeit laufen weitere Forschungsarbeiten mit sogenannten Convolutional Neural Networks, um mit der KI-Analyse auch gleichzeitig eine Klassifizierung der Schienenfehler nach dem jeweiligen Defektyp zu realisieren.

Des Weiteren kann aus der präziseren Erkennung von Defekten mittels KI auch eine Einschätzung darüber gewonnen werden, welche Defektgrößen des jeweiligen Typs eines Schienenfehlers sich erkennen lassen. Dazu kann durch eine Probabili-

ty of Detection (POD)-Analyse für jeden Fehlertyp eine Referenzgröße ermittelt werden, die das Prüf- und Auswertesystem zuverlässig identifizieren kann. Bild 2 veranschaulicht die statistische Methode der POD mit der berechneten Schwellengröße, ab der ein Defekt als zuverlässig erkennbar gilt. Zusammen mit weiteren Faktoren wie der Streckengeometrie und der Verkehrsbelastung lässt sich daraus eine für jeden Prüfabschnitt individuelle Risikobewertung ableiten, indem das Wachstum potenziell vom System unerkannter Defekte abgeschätzt wird. Hierüber kann die Kritikalität eines Abschnittes über eine Zeitspanne nach dem letzten Prüftermin und die Dringlichkeit einer weiteren Prüfung ausgedrückt werden. Aufbauend auf der POD-Analyse wird im Rahmen des Forschungsprojekts konzeptionell untersucht, ob ein Übergang von fixen Intervallen hin zu einem PM-Ansatz mit individuellen, kritikalitätsabhängigen Prüfabständen für einzelne Streckenabschnitte möglich ist. •

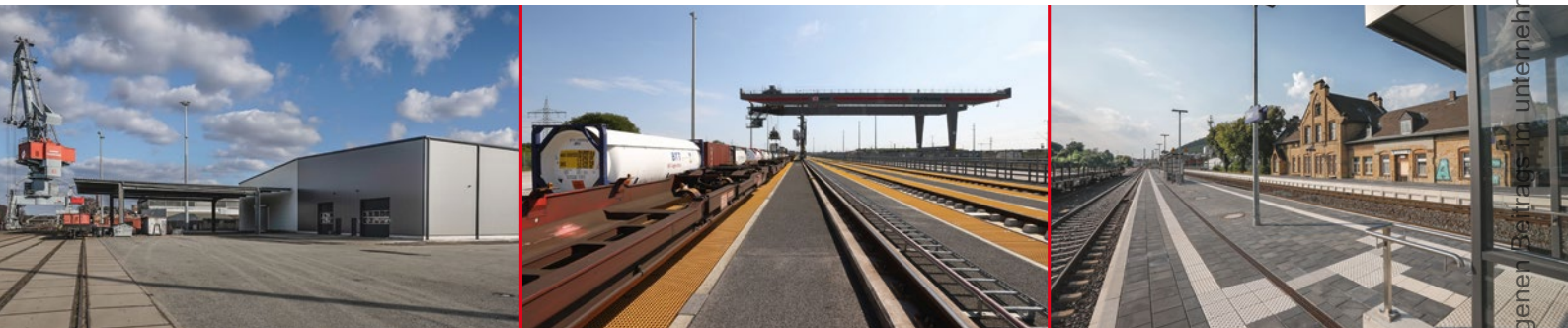
Literatur

- AIFRI (Artificial Intelligence for Rail Inspection): KI-basierte Analyse von Schienenprüfdaten für eine optimierte Instandhaltungsplanung: https://www.dzsf.bund.de/SharedDocs/Standardartikel/DZSF/Projekte/Projekt_103_AIFRI.html (Letzter Aufruf: 01.02.2024).
 - G. Olm, T. Heckel, „Application of anomaly detection with autoencoder in railway maintenance using ultrasonic data“, in Tagungsband 34. Forum Bauinformatik 2023, Bochum, DOI: 10.13154/294-10117.

Summary

Optimized planning of rail inspection

Around 90,000 kilometers of tracks are inspected per year, mainly by specially equipped inspection trains. A research consortium is currently investigating possibilities, to design the planning of test runs more efficient via mathematical optimization and by using artificial intelligence to detect defects in the test data and ultimately in the rail. Concepts of a predictive rail maintenance service with the purpose of a safe route can be derived.



ALBERT FISCHER GmbH
 Heilswannenweg 53 ■ 31008 Elze
 Tel. 05068 / 9290-0 ■ Fax -40
 info@albert-fischer.de
www.albert-fischer.de

- Gleis- und Stadtbahnbau
- Hallen- und Industriebau
- Erd- und Bahnsteigbau
- Straßen- und Kanalbau
- Ingenieur- und Wasserbau



Albert Fischer GmbH – Alle Bauleistungen aus einer Hand!

Beleg-Nr. der Ausschreibung: 24/24; Veröffentlichung des eigenen Beitrags im unternehmenseigenen Inter- und Intranet sowie auf Social-Media-Plattformen unbefristet genehmigt / © DW