

# Die Weiche: smarte(ste) Komponente der Eisenbahninfrastruktur?

Um erfolgreich Datenanalysen an Weichen durchzuführen, müssen vergleichbare Belastungsszenarien definiert, gemessen und ausgewertet werden.

ROBERT BERNERSTÄTTER |  
MARKUS STEINDL | IVAN VIDOVIC

**Die Digitalisierung ist ein wesentlicher Baustein zur Gewährleistung und Erhöhung der Verfügbarkeit und Effizienz von Bahninfrastruktur. Die Weiche als Schnittstelle zwischen Fahrweg sowie Leit- und Sicherungstechnik ist bereits lange ein Fokuselement der Datenerfassung wie auch des Monitorings. Sie ist daher prädestiniert, zu einem Smart Device mit den dazugehörigen Komponenten weiterentwickelt zu werden. Die zielgerichtete Kombination von Hard- und Software wird dabei immer wichtiger. Dadurch steigt nicht nur die Verfügbarkeit, sondern es lassen sich langfristig auch die Lebenszykluskosten (engl. Life Cycle Costs, kurz LCC) senken.**

## Strategien zur Instandhaltung des Eisenbahnfahrwegs

Heutzutage stehen sowohl Betreiber von Bahninfrastrukturanlagen als auch Hersteller von Fahrwegkomponenten vor denselben Herausforderungen, wenn auch aus gänzlich unterschiedlichen Blickwinkeln betrachtet.

Infrastrukturbetreiber müssen hierbei einerseits dem Mobilitätsbedarf nachkommen und somit möglichst viele Züge (Personenverkehr und Güterverkehr) verkehren lassen. Andererseits gilt es, die erforderlichen Zeitfenster für die zwingend erforderliche Instandhaltung bereit zu stellen. Ein weiterer, nicht minder gewichtiger Faktor sind die zur Verfügung stehenden Budgetmittel für Instandhaltung. Die optimale Balance zwischen einem gut instandgehaltenen Netz unter optimalem Einsatz der monetären Mittel und der Befriedigung des Mobilitätsbedürfnisses zählt nachweislich zu den größten Herausforderungen.

Auf Seiten der Komponentenhersteller und Zulieferer besteht das Streben nach den qualitativ hochwertigsten Materialien und Produkten, die den Beanspruchungen und Belastungen über Jahrzehnte hinweg entgegenwirken und möglichst wenig Instandhaltung benötigen.

Was sich in der Theorie logisch und simpel liest, gestaltet sich in der Praxis in dieser Art und Weise jedoch äußerst herausfordernd. Hier bedarf es des zielgerichteten und ergebnisorientierten

Einsatzes von Methoden zur Zustandserfassung von Anlagen, der korrekten Interpretation der erhaltenen Informationen und den daraus resultierenden Empfehlungen für die anstehenden Instandhaltungsmaßnahmen. All das dient zur Erreichung des höheren Ziels eines nachhaltigen Anlagenmanagements.

Essenzieller Bestandteil jeglichen Anlagenmanagements sind Instandhaltungsstrategien und die darauf aufbauenden Maßnahmenentscheidungen, die sowohl den technischen als auch den wirtschaftlichen Aspekt berücksichtigen müssen.

Am Beispiel der „fail & fix“-Strategie werden die Folgen der eingesparten Instandhaltung und Zustandsbewertung ersichtlich. Zwar werden dabei verhältnismäßig wenig Sperrpausen für die Instandhaltung und Zustandsbewertung benötigt, da die Anlagen lediglich im Falle eines Ausfalls beziehungsweise Bruchs repariert werden. Die Einsparungen werden jedoch aufgrund längerer Sperrpausen und erhöhter Kosten für Reparatur bzw. Ersetzen der Anlage konterkariert.

Ähnlich gestaltet sich das „find & fix“-Konzept aus. Im Gegensatz zur „fail & fix“-Philosophie werden zeitabhängige Inspektionen

beziehungsweise Messungen durchgeführt, die der Anomalie-Detektion dienen.

Intervallabhängige Strategien sehen eine Intervention – sei es bspw. Stopfen oder Schleifen – in Abhängigkeit der Belastung vor. Dabei wird eine gängige und häufig eingesetzte Eingriffsschwelle auf Basis der Belastung gesetzt (beispielsweise in Millionen Bruttotonnen), die über die Anlage abgewickelt worden sind.

Im Gegensatz zu den vorherigen Überlegungen wird im Rahmen eines „monitor & prevent“-Ansatzes auf Zeitreihenanalysen gesetzt. Darauf aufbauend lassen sich Grenzwerte definieren, mit denen es möglich wird, die Instandhaltung zielgerichtet einzuleiten und auszuführen. Die Folge sind reduzierte Kosten und optimierte Instandhaltungspläne.

Sind genügend historische Daten vorhanden, kann aus dem Gelernten und Vergangenen das zukünftige Verhalten anhand von Prognoseverfahren vorhergesagt werden. Voraussetzung sind jedoch Kenntnisse über die Auswirkung von Instandhaltungsmaßnahmen und die spezifischen Fehlermuster [1].

Wenn bereits der Übergang von einer zyklisch basierten Instandhaltung zu einer prädiktiven als revolutionär betrachtet wird, lassen sich die

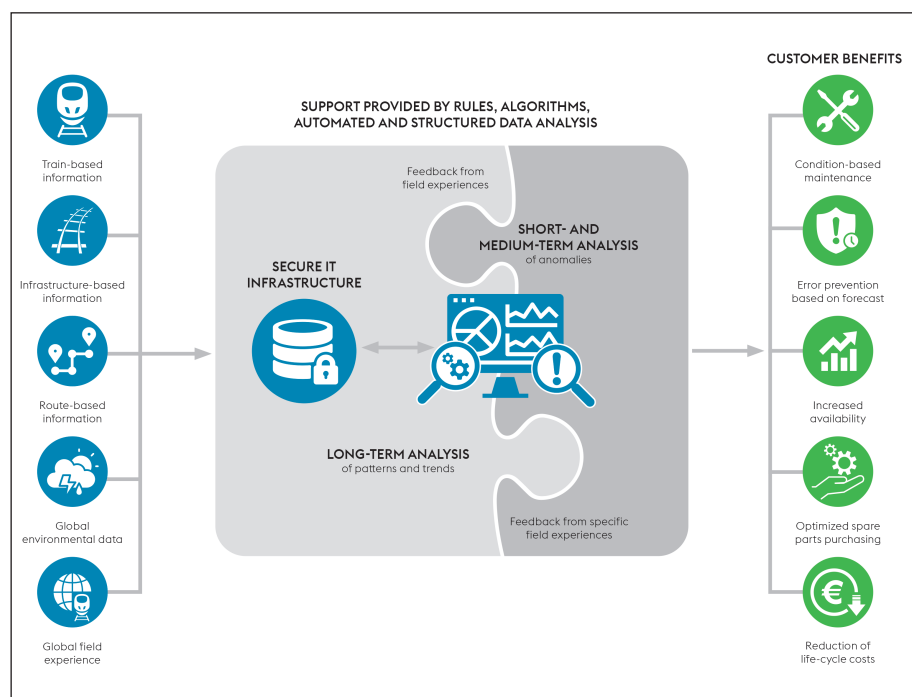


Abb. 1: Wesentliche Funktionen der intelligenten Weiche

Quelle: voestalpine

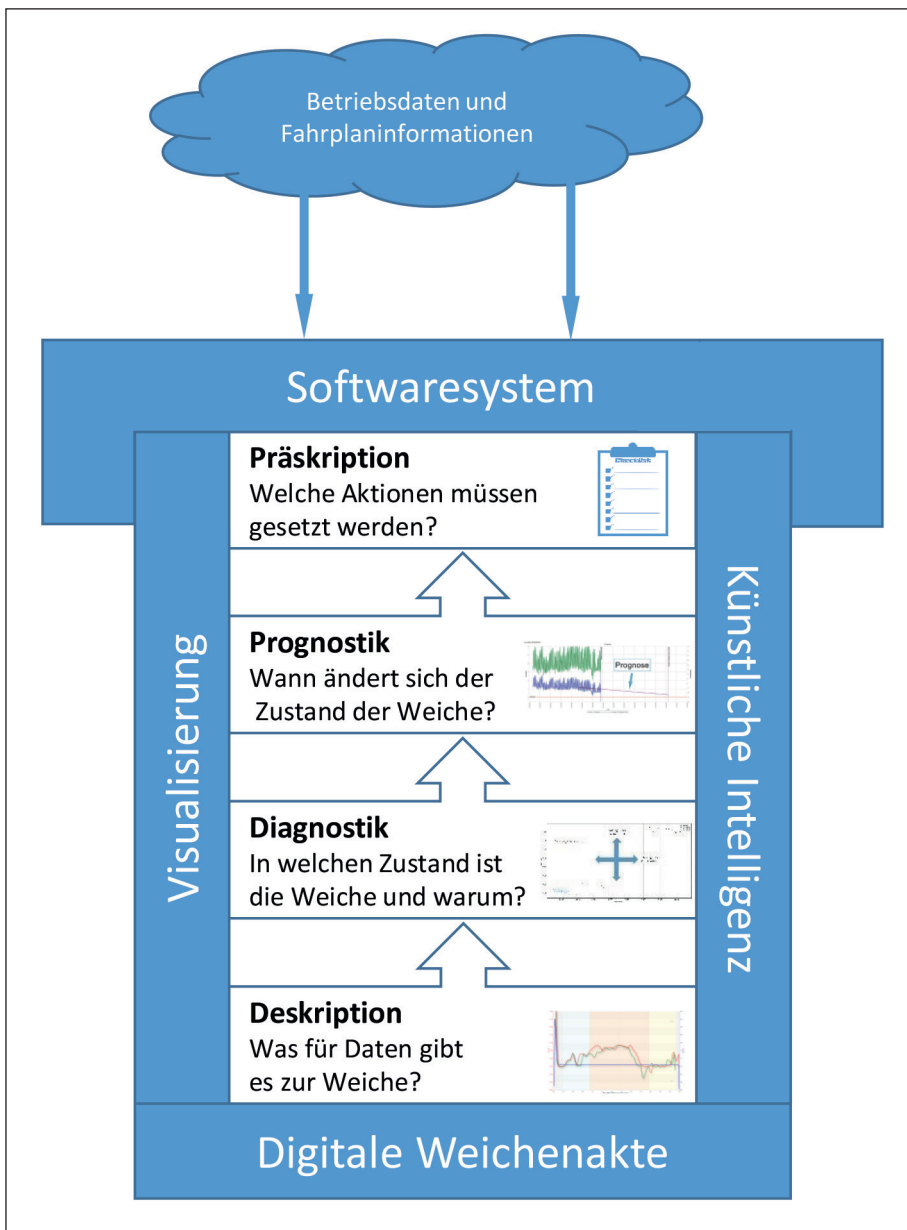


Abb. 2: Analytiksystem der intelligenten Weiche

Quelle: voestalpine

Hebelwirkung und der Einfluss eines präskriptiven Ansatzes auf die Instandhaltung kaum erahnen. Dieser finale Schritt bedingt die exakte Kenntnis über das Anlagenverhalten, deren Verschleißkurven und schlussendlich auch über die Auswirkungen einer jeden Maßnahme auf die Performance und Lebensdauer der Anlagen. Das präskriptive Instandhaltungsregime baut auf mehreren Säulen auf, wobei eine davon die richtige Wahl der Sensorik, die es ermöglicht, die gewünschten Daten zu sammeln, darstellt. Ausgehend von den gesammelten Daten, smarter Analytik und Zustandsbewertungen werden die zukünftigen Anlagenzustände prognostiziert und die nächsten Maßnahmen anschließend vorgeschlagen.

### Was macht eine Weiche intelligent?

Die intelligente Weiche ist eine Kernkomponente in den oben erwähnten modernen In-

standhaltungsregimen. Sie besteht im Wesentlichen aus vier generischen Komponenten:

1. Datenerfassung mittels Sensoren
2. Kommunikation mit ihrer Umgebung
3. Auswertung und Verknüpfung der beiden ersten Punkte mittels datenanalytischer Ansätze
4. Umfangreiches Domänenwissen des Systems Weiche als klare Basis für zielgerichtete Handlungsempfehlungen

Abb. 1 zeigt eine schematische Darstellung dieser Punkte auf einer Metaebene. Die linke Seite – die Inputs – zeigt Ausprägungen der Möglichkeiten der Sensorerfassung und Kommunikation mit dem Umfeld der Weiche. Die rechte Seite umfasst die Facetten des Kundenmehrwertes der intelligenten Weiche. Dieser zeigt sich unter anderem in einer erhöhten Verfügbarkeit durch die mögliche Umsetzung fortschrittlicher Instandhaltungsstrategien. Die Verarbeitung des

Inputs zum Mehrwert des Outputs erfolgt über den umfangreichen Werkzeugkasten der Data Science. Über allem steht das nötige umfangreiche Domänenwissen des Systems Weiche, das Systemlieferanten im Bahninfrastrukturbereich einbringen können.

### Datenerfassung mittels Sensoren

Die intelligente Weiche erfasst ihren eigenen Betriebszustand und ihre Umgebung mit einem abgestimmten Sensorpaket. Dabei ist auf die bereits erwähnte Kostenbalance – mit einem LCC-Ansatz – zu achten. Eine Ausstattung mit Sensoren macht vor allem an beweglichen Elementen und hoch beanspruchten Bereichen der Weiche Sinn. Die Erfahrung zeigt, dass es sich dabei um den Zungen- und den Herzstückbereich handelt. Um Abnützungen und sich verändernde Betriebszustände zu erfassen, müssen Sensoren gewählt werden, die das physikalische Prinzip hinter einer Veränderung messen können. Die Messung von Drücken, Kräften und der Stromaufnahme in der Weichenumstellung sind nur einige bereits umgesetzte Beispiele. Diese können mit Mikrofonen, Beschleunigungsmessern, Lineargebern und Dehnmessstreifen erweitert werden.

### Kommunikation mit der Umgebung

Die intelligente Weiche ist ein großer Kommunikator. Sie erhält Informationen über ihre Befahrung, indem der Zug mit der Weiche kommuniziert. Dadurch kann ein jeweils passendes Belastungsprofil erstellt werden, welches Auskunft über die Entwicklung der weiteren Abnutzung geben kann. Diese Informationen werden ebenfalls in der Erstellung des Belastungsprofils berücksichtigt. Die Daten eines Wetterdienstes liefern Informationen über die Umweltbedingungen, denen die Weiche ausgesetzt ist. Während Sensoren vor Ort das aktuelle Wetter erfassen können, ist es mit den Prognosen von Wetterdiensten möglich, diese in Ausfallprognosen der Weiche zu berücksichtigen. Zu guter Letzt kommuniziert die Weiche in gewisser Weise mit sich selbst, indem sie eine Historie von sich in einer digitalen Weichenakte anlegt, auf die sie jederzeit zugreifen kann.

### Auswertung mittels Data Analytics

Neben der Sensorhardware und der Kommunikation ist eine intelligente Software in Form von modernen Methoden der Datenanalyse ein weiterer Baustein der intelligenten Weiche. Abb. 2 zeigt wichtige Kernelemente der intelligenten Weiche.

Basierend auf den Daten der Sensorsysteme, der Umgebung und der Historie der Weiche ist es mittels Künstlicher Intelligenz (KI) möglich, den Mehrwert der Outputseite von Abb. 1 zu generieren. Die verfügbaren Daten und Informationen sowie die Ergebnisse der Analysen müssen dem Betreiber oder dem Kunden visualisiert werden. Diagnosesysteme wie z.B. Roadmaster umfassen eine Vielzahl von Möglichkeiten zur ansprechenden Aufbereitung der Daten (Abb. 3).

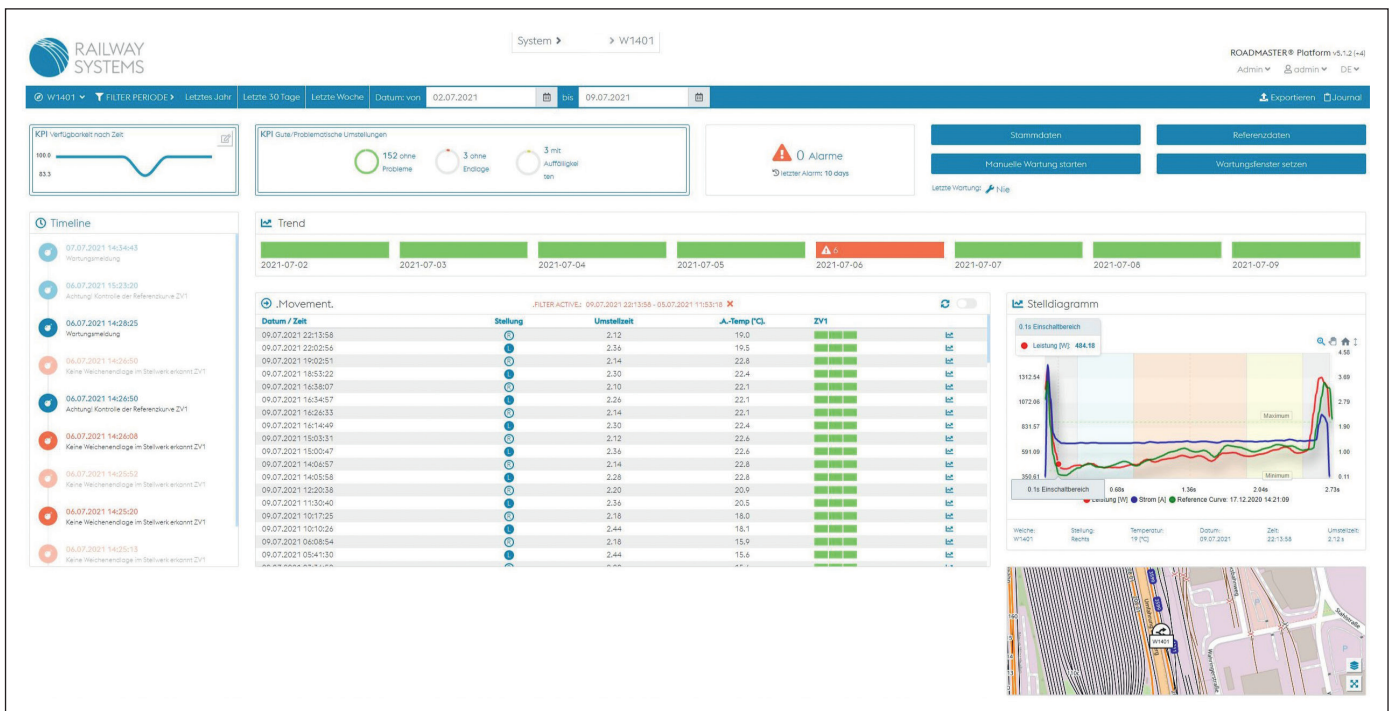


Abb. 3: Roadmaster Plattform

Quelle: voestalpine

Die Identifikation des Zustandes der Weiche ist zentral in der weiteren Vorgehensweise. Dabei wird erkannt, wie weit der Abnutzungsfortschritt der Komponenten der Weiche ist (find & fix). Darauf aufbauend kann berechnet werden, wann es zu einer Veränderung des Zustandes (z. B. eines Ausfalls) der Weiche kommt (monitor & prevent). In Kombination mit dem Domänenwissen können dann nicht nur Handlungsempfehlungen zur Wartung gegeben werden, sondern auch Verbesserungen für ein zukünftiges Engineering abgeleitet werden. [2]

### Umsetzung der intelligenten Weiche

Eine vollumfängliche Implementierung der oben erwähnten Punkte ist noch nicht ganz abgeschlossen. Ein „weißer Bereich auf der Karte“ sind noch die Kommunikation mit dem Zug und die Verarbeitung der Betreiberdaten. Eine saubere Aufteilung der Belastungsszenarien ist nötig, da unterschiedliche Züge bei unterschiedlichen Befahrungen verschiedene Belastungen erzeugen: Gleiches muss mit Gleichem verglichen werden. Um den Einfluss einer Überfahrt auf die Abnutzung der Weiche möglichst genau modellieren

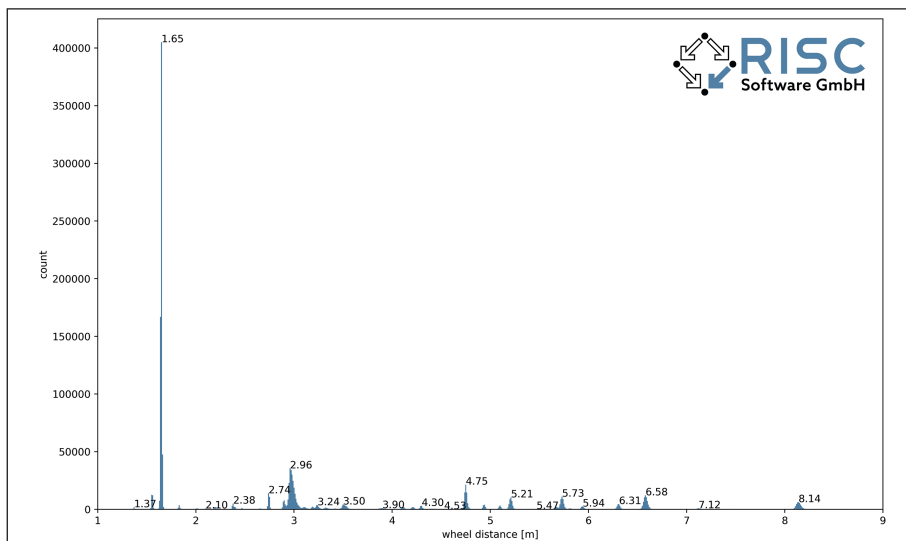
zu können, benötigt man neben Weichenstellung, Überfahrtrichtung und Zuggeschwindigkeit auch Information zu den beteiligten Schienenfahrzeugen. Gewicht, Achsformel und Antriebsart des Triebfahrzeugs sowie Anzahl, Typ und Beladungszustand der Wagen sind für das Verschleißmodell wesentlich. Die Weichenstellung beeinflusst, welche Teile der Weiche erhöhten Verschleiß erfahren. Zum Beispiel belastet eine Überfahrt bei linker Weichenstellung die rechte Zungenvorrichtung mehr als die linke und wirkt sich auf das Herzstück an-

## Weichenzungen- Rollvorrichtung 100 % wartungsfrei

# AUSTROROLL

- stoßunempfindlich durch dauerhaft elastische Lagerung
- 60 % Stellkraftreduktion über gesamten Stellweg
- Instandhaltungsarbeiten am Oberbau ohne Einschränkung möglich
- über 25 Jahre Erfahrung und zufriedene Kunden

- auch für federnd bewegliche Herzstücke
- für Neubau und Nachrüstung
- 5 Jahre Gewährleistung
- DB – Oberbaustandard



**Abb. 4:** Histogramm der Achsabstände des gesamten Zugs von über 20.000 Zugüberfahrten einer Weiche mit Bin-Breite von 10 mm. Abstände zwischen der letzten Achse eines Schienenfahrzeugs und der ersten Achse des Folgefahrzeugs flossen mit ein.

Quelle: RISC

ders als bei rechter Weichenstellung aus. Die Überfahrtsrichtung hat einen Effekt auf den Verschleiß, da die Facing-Direction (Spitzbefahrung)

unter anderem eine andere Abfolge von Vertikalbeschleunigungen am Herzstück als die Trailing-Direction (Stumpfbefahrung) auslöst.

Die Weichenstellung lässt sich direkt aus den Messdaten einer Überfahrt ableiten. Bei rechter Weichenstellung liefern die verbauten Sensoren der linken Zungenvorrichtung ein vielfach höheres Signal als die entsprechenden Sensoren an der rechten Zungenvorrichtung. Die Zuggeschwindigkeit lässt sich aus den Messwerten der Radsensoren errechnen. Jedes Rad verursacht einen Ausschlag an diesen Sensoren. Aus deren zeitlicher Differenz und dem jeweils definierten Abstand ergibt sich die Geschwindigkeit des Zuges zu diesem Zeitpunkt. Die Geschwindigkeit kann so zeitabhängig erfasst werden, wenn etwa beim Beschleunigen des Zuges während der Überfahrt die Räder weiter hinten eine höhere Geschwindigkeit als die Räder vorne haben. Die Zuggeschwindigkeit wirkt sich einerseits direkt auf den Verschleiß aus, da sie unter anderem höhere Vertikalkräfte bewirkt. Andererseits lassen sich aus ihr weitere Informationen ableiten. So ergibt sich die Überfahrtsrichtung direkt aus dem Vorzeichen der Zuggeschwindigkeit. Darüber hinaus lassen sich alle Achsabstände eines Zuges aus Radsensordaten und Zuggeschwindigkeit berechnen. Um einen Achsabstand zu erhalten, dividiert man die mittlere



Lassen Sie sich  
unverbindlich  
beraten!

## DIGITALE SONDERDRUCKE

Onlinemarketing mit Ihrem Fachartikel zur Nutzung in Ihren digitalen Kanälen



### Werben Sie mit Ihrem maßgeschneiderten digitalen Sonderdruck!

Wir finden mit Ihnen die beste Ergänzung zu Ihrem Onlinemarketing-mix, sodass Sie Ihre digitale Reichweite optimal ausnutzen können.

Interesse? Ihre Ansprechpartnerin: **Martina Hennig**

@ lizenzen@dvvmedia.com | ☎ 040 237 14 139

✉ DVV Media Group GmbH, Heidenkampsweg 73–79, 20097 Hamburg



Mehr Informationen unter [www.eurailpress.de/digitaler-sonderdruck](http://www.eurailpress.de/digitaler-sonderdruck)

# STRAIL<sup>®</sup>WAY

## auf schwellen bauen.



## fit & forget

### STRAILWAY Kunststoffschwelle

ist die perfekte, umweltfreundliche Alternative zur Holzschwelle mit **individuellen Längen bis zu sieben Meter, z. B. für Weichenschwellen.**

**Testen Sie die herausragende Bearbeitbarkeit** mit normalem Werkzeug und die **Langlebigkeit** von mindestens **50 Jahren!**



max. Achslast  
25 to (je nach  
Geschwindigkeit)



DB Test zur Betriebs-  
tauglichkeit bei der  
TU München



Gleis-, Weichen-  
schwellen und  
Brückenbalken



keine  
Schutzkleidung



bis zu  
160 km/h



recycled &  
recyclebar

Geschwindigkeit zweier nachfolgender Räder durch die zeitliche Differenz der beiden Räder. Abb. 4 visualisiert die Verteilung der Achsabstände von über 20 000 Zugüberfahrten einer Weiche. Die Abstände zwischen der letzten Achse eines Schienenfahrzeugs und der ersten Achse des Folgefahrzeugs wurden dabei berücksichtigt. Man erkennt, dass die Peaks der Verteilung scharf definiert sind, was auf eine hohe Zuverlässigkeit der berechneten Achsabstände schließen lässt.

Aus den Achsabständen eines Zugs lässt sich schließlich auf das Triebfahrzeug und die Wagen schließen. Ausgehend von einem vierachsigen Triebfahrzeug am vorderen Ende des Zuges, sind die ersten drei Achsabstände wesentliche Größen für das Detektieren des Triebfahrzeugtyps. Der erste und dritte Abstand sind die Achsabstände der beiden Drehgestelle, aus allen drei Abständen lässt sich der Drehzapfenabstand berechnen. Mit Methoden des maschinellen Lernens lässt sich aus diesen drei abgeleiteten Größen auf das Triebfahrzeug schließen. Mithilfe eines Katalogs bekannter Triebfahrzeuge kann man ein Ähnlichkeitsmaß definieren, mit dem man die an den Überfahrten beteiligten Triebfahrzeuge denen des Katalogs zuordnen kann. Das einfachste solcher Ähnlichkeitsmaße ist der räumliche Abstand. Mittels Ähnlichkeitsmaß lassen sich die Triebfahrzeuge auch automatisiert clustern, falls kein Katalog zur Verfügung steht. Jedes Cluster-Zentrum entspricht dann einem oder mehreren Typen von Triebfahrzeugen. Als dritte Methode zur Erkennung von Triebfahrzeugen bietet sich supervised Machine-Learning (ML) an [3]. Hier werden Features wie gemessene Achsabstände und Zielvariablen wie Achsformel, Triebfahrzeugtyp etc. als Trainingsdaten aufbereitet, um ein Modell zu trainieren. Das Modell lernt dabei, von den Features direkt auf die Zielvariablen zu schließen. Dafür müssen die Trainingsdaten möglichst fehlerlos sein und eine große Varianz sinnvoller Kombinationen der Features als auch der Zielvariablen beinhalten. Falls sich entsprechende Trainingsdaten erstellen lassen, lässt sich der Anwendungsbereich von supervised ML-Methoden auch erweitern. So können etwa neben dem Triebfahrzeug auch die einzelnen Wagen zugeordnet werden. In Kombination mit numerischer Simulation lassen sich schließlich hybride Modelle definieren, die direkt von den Messdaten auf den Verschleiß der Weiche schließen lassen. Die große Herausforderung dabei ist, ausgewählte Überfahrten mittels Simulation exakt nachzurechnen und einen entsprechend umfangreichen Satz an Trainingsdaten zu erzeugen.

### Fazit

Die intelligente Weiche wird die Digitalisierung in der Bahninfrastruktur vorantreiben. Die Anreicherung von Hardware zur Zustandserfassung der Weiche und deren Umgebung mit Software und KI ist dabei wesentlich. Ein

nicht zu unterschätzender Schlüsselfaktor ist jedoch das Domänenwissen über das System Bahninfrastruktur im Allgemeinen und der Weiche im Speziellen. Der ganzheitliche Blick wird in Zukunft noch wichtiger werden und gibt Systemanbietern einen entscheidenden Vorteil, der zu erheblichen Verbesserungen auf Kundenseite führen wird. ■

### QUELLEN

- [1] Marschnig, S.: iTAC - innovative Track Access Charges, Graz, 2016, Verlag der technischen Universität Graz  
 [2] Famurewa, S.; Zhang, L., Asplund, M.: Maintenance analytics for railway infrastructure decision support, Journal of Quality and Maintenance Engineering, 23-3/2017  
 [3] Hastie, T.; Tibshirani, R.; Friedman, J.: The Elements of Statistical Learning. Springer Series in Statistics Springer New York Inc., New York, NY, USA, (2001), ISBN 978-0-387-84858-7



#### Dr. Robert Bernerstätter

Data Scientist  
voestalpine Signaling Austria GmbH,  
AT-Zeltweg  
robert.bernerstaetter@voestalpine.com



#### Dr. Markus Steindl

Data Scientist  
RISC Software GmbH,  
AT-Hagenberg im Mühlkreis  
markus.steindl@risc-software.at



#### Dr. Ivan Vidovic

Application & Data Management  
voestalpine Signaling Austria GmbH,  
AT-Zeltweg  
ivan.vidovic@voestalpine.com

[www.strailway.de](http://www.strailway.de)

KRAIBURG STRAIL GmbH & Co. KG  
STRAIL | STRAILastic | STRAILway

D-84529 Tittmoning // Göllstr. 8 //  
tel. +49 | (0)86 83 | 701-0 // [info@strail.de](mailto:info@strail.de)

[@kraiburg\\_strail](https://www.linkedin.com/company/kraiburg-strail) [@strail\\_official](https://www.instagram.com/strail_official)