

Weichenanalytik – Smarte Sensoren und künstliche Intelligenz für die rundum gesunde Weiche

Funktionsstörungen von Eisenbahnweichen verhindern einen reibungslosen Bahnbetrieb und tragen maßgeblich zu Verspätungen und hohen Instandhaltungskosten bei. Aus diesem Grund setzen Infrastrukturbetreiber verstärkt auf eine kontinuierliche Überwachung durch Sensoren im Feld. Wird diese Messtechnik zudem mit KI-basierter Analytik kombiniert, lassen sich eine gesamtheitliche Zustandsbetrachtung sowie der Wechsel zu prädiktiver Instandhaltung realisieren.

► Eisenbahnweichen ermöglichen einen flexiblen Gleiswechsel ohne Halt und zählen daher zu den essentiellen Bestandteilen eines leistungsfähigen Bahnbetriebs. Im Umkehrschluss bedeutet dies jedoch, dass Funktionsstörungen der Weichen häufig mehrere Fahrwege zugleich beeinträchtigen und so eng mit Verspätungsmi- nuten einhergehen. So ist es nicht verwunderlich, dass Weichen in den vergangenen Jahren eines der Infrastrukturelemente mit dem größten Anteil an Verspätungsmi- nuten waren [1] [2]. Auch aktuelle Aussagen, wie der Bericht der DB Netz [3] sowie Gespräche mit europäischen Eisenbahn- infrastrukturunternehmen (EIU) zeigen, dass Verspätungen durch Weichenstörun- gen nach wie vor ein dringendes Problem darstellen.

Viele EIU setzen deshalb verstärkt auf eine kontinuierliche Überwachung von Weichen. Der Einsatz von Sensoren soll beispielsweise dazu beitragen, Störungen und Instandhal- tungskosten zu senken:

1. In einem ersten Schritt soll die kontinuierliche Zustandsüberwachung Anomalien detektieren, um auf Funktionsstö- rungen aufmerksam zu machen,
2. Anschließend soll die Datenauswertung Ursachen diagnostizieren, um eine gezielte, schnelle Entstörung durchführen zu können und so die Störbestehenszeit zu reduzieren,
3. In einem letzten Schritt sollen weiter- entwickelte Auswertungen Störungen prognostizieren, um geplant eingreifen zu können und weitere Ausfälle zu ver- hindern.

Diese Schritte ließen sich theoretisch paral- lel durchführen, jedoch wird dies erst durch ausreichende Erfahrungen mit den Sen- sordaten und einen angemessenen Daten- bestand möglich. Dieser Datenbestand ist insbesondere für die korrekte Analyse der Weiche unumgänglich. Ihr Zustand wird von einer Vielzahl an Parametern (Alter, Belas- tung, Umwelteinflüsse, etc.) beeinflusst, die



Dipl.-Ing.-Inf. Thomas Böhm
Chief Data Scientist,
Konux GmbH
thomas.boehm@konux.de



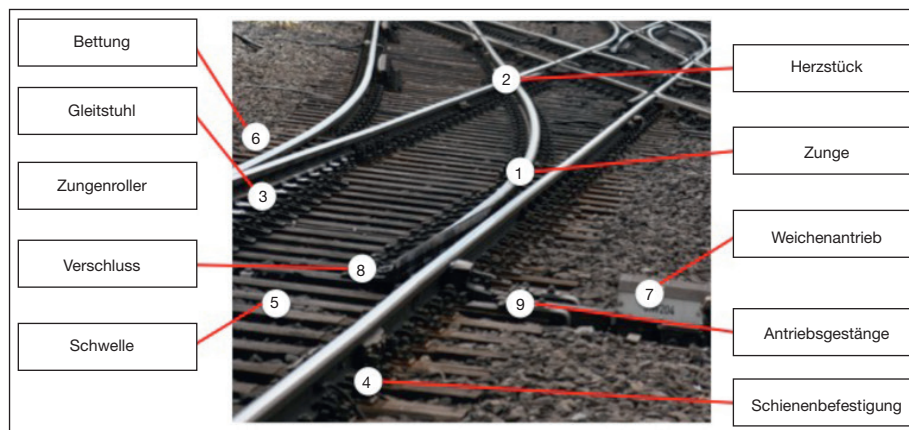
Natalie Weiß
Head of Communications
KONUX GmbH
natalie.weiss@konux.com

nicht mit einem einzelnen Messprinzip oder gar Sensor überwacht werden können.

Des Weiteren werden Weichen historisch bedingt von zwei separaten Gewerken überwacht, analysiert und instandgehalten. So werden Schienen, inklusive Zunge und Herzstück, Schienenbefestigung, Schwelle, Bettung dem Oberbau zugeordnet, wäh- rend Gleitstühle und Zungenroller, Weichen- antrieb, Antriebsgestänge und Verschluss in den Zuständigkeitsbereich der Leit- und Sicherungstechnik (LST) fallen (siehe Bild 1). Diese Trennung findet sich sowohl in Lehr- büchern [4] [5], als auch in den Richtlinien der Deutschen Bahn [6] [7]. Erst bei kontinu- ierlicher Überwachung wird es praktikabel, diese zwei Sichtweisen zusammenzubrin- gen. Da sich viele Fehler gegenseitig bedin- gen, wird eine gesamthafte Bewertung angestrebt.

Zuverlässige Messsysteme für die Über- wachung von Weichen existieren seit Län- gerem, beispielsweise werden der Antrieb und der Stellvorgang durch kontinuierliche Stellstrommessung überwacht. Die Funkti- on der Weichenheizung und dazugehöriger

BILD 1: Bestandteile einer einfachen Weiche



Klimaparameter wird ebenfalls fortlaufend geprüft. Geometrische Parameter können mit Messzügen oder Handmessgeräten erfasst werden. Zudem sind mittlerweile mehr und mehr Datenbestände unterschiedlicher Inspektionen und kontinuierlicher Überwachung digital verfügbar und mit universellen Merkmalen wie Zeit und Ort der Messung versehen. Diese Voraussetzungen erleichtern die automatische Verknüpfung verschiedener Datenquellen für weitergehende Analysen.

Dedizierte Entwicklungen wie die Messung des Rad- bzw. Fahrkantenprofils per Laser [8] und das Industrial Internet of Things (IIoT) bringen neue Sensoren hervor (Beispiele siehe Bild 2), die weitere Anwendungsfälle wirtschaftlich machen. Dabei bieten insbesondere IIoT-Lösungen deutliche Vorteile. Die Sensoren benötigen wenig Energie, sind nativ vernetzt und selbstüberwachend [9]. Da die vielen heterogenen Daten für den Menschen nicht mehr handhabbar sind, wird eine leistungsfähige Analytik essentiell. Durch diese technischen Fortschritte ergeben sich auch für eine gesamtheitliche Zustandsbetrachtung der Weichen neue Möglichkeiten.

WIE SIEHT EINE GESAMTHAFTE ZUSTANDBETRACHTUNG IN DER PRAXIS AUS?

Als gesamthafte Betrachtung ist die automatische Beobachtung aller Parameter zu verstehen, die direkt oder indirekt Aussagen über die Restlebensdauer (eng. Remaining Useful Life, RUL) zulassen. Die RUL wiederum beschreibt gemäß DIN EN 13306 den „Vorrat der möglichen Funktionserfüllung unter festgelegten Bedingungen, der einer Betrachtungseinheit aufgrund der Herstellung, Instandsetzung oder Verbesserung innewohnt.“ [10 S. 5]. Die beobachteten Größen werden fusioniert, um eine gezielte Diagnose und letztlich eine Prognose zu erstellen.

Dabei kann die Fusion auf Ebene der Rohdaten einzelner Sensoren, auf Objektebene oder auf Informationsebene erfolgen. „Blinde Flecken“ der Diagnose werden durch die Fusion eliminiert. Dahinter steckt der Gedanke einer mehrfachen Nutzung von Datenquellen. Analog zur Umfelderkennung beim automatischen Fahren, bei der Videobilder mit Laser- oder Radardaten zur Steigerung der Genauigkeit fusioniert werden, verbessert die Mehrfachnutzung die Diagnose und die Prognose. Dies bedeutet, die fusionierten Daten werden für die gegenseitige Interpretation verwendet – auch über ihren originären Zweck hinaus.



BILD 2: Beispiele von Sensorprinzipien, die häufig im Bereich IIoT verwendet werden

Wird dieser allgemeine Ansatz auf die Weiche angewendet, sollte zunächst bestimmt werden, welches die zu beobachtenden Parameter sind und welche Fehlerbilder potenziell zum Ausfall der Weiche führen können. Eine detaillierte Übersicht über die Weichenelemente und ihre entsprechenden Fehlerbilder gibt beispielsweise [11].

Mit dem Ziel einer prädiktiven Instandhaltung, muss die eingesetzte Sensorik kontinuierlich messen und diese Daten für eine weitere Analyse automatisch bereitstellen. Hierfür werden die Sensordaten beispielsweise an eine Plattform vermittelt. Auf diesen Daten setzen Algorithmen auf, die letztlich die Detektion, Diagnose und Prognose übernehmen.

Einige (Sensor-) Bausteine in diesem Konzept werden bereits in der Praxis eingesetzt. Beispielsweise haben die Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) 4510 ihrer 13 760 Weichen mit Stellstromüberwachung ausgerüstet [12a]. Die Deutsche Bahn Netz AG hatte Ende 2016 rund 5000 solcher Systeme zur Stellstromüberwachung im Einsatz, bis 2020 sollen rund 30 000 [13] ihrer 67 000 Weichen damit ausgestattet werden. Viele Weichenheizungen erfassen zum Selbstzweck Klimaparameter, wobei vordergründig Temperatur und Niederschlag für die vernetzte Analyse relevant sind.

Weit weniger verbreitet sind permanente Messsysteme für die Geometrie. Gerade diese Parameter beeinflussen den Zustand der Weichen jedoch signifikant. Geometriefehler erzeugen unerwünschte Schwingungen und dynamische Kräfte, und sind somit für

den mechanischen Verschleiß von Weichenelementen verantwortlich. Deshalb wird der Kombination von Geometrieparametern und Stellstromdaten ein hohes Potenzial für die gesamthafte Zustandsbeurteilung zugeschrieben.

Ein Beispiel dafür ist die als „unzeitige Auffahrmeldung“ bezeichnete Störung. Der Begriff ist als Problemcodetext Teil der Störungsdokumentation, welche die DB Netz AG in SAP vornimmt. Von mehr als 40 möglichen Problemcodetexten lag diese Störung über mehrere Jahre unter den Top 5. Bei einer „unzeitigen Auffahrmeldung“ springt der Endlagenprüfer heraus, so dass die LST nicht länger von einer sicheren Endlage ausgehen kann und die Weiche als gestört gemeldet wird. Will die LST-Fachkraft das Problem vor Ort beheben, kann sie das Phänomen oft nicht mehr beobachten. Der Fehler wird häufig durch Schwingen des Antriebs bzw. des Gestänges verursacht, welches wiederum auf eine unzureichende Lagerung oder Geometrie der Weiche zurückzuführen ist. In einigen Fällen wurde diese Störung bereits durch eine Zugüberfahrt am Nachbargleis ausgelöst.

Da herkömmliche Messungen der Weichengeometrie mit einigem Aufwand verbunden sind und sich diese Größen meist nur langsam verändern, werden sie in größeren Abständen durchgeführt. Im Falle der Deutschen Bahn bedeutet dies alle 3 bis 6 Monate [6]. Für die Analyse der Wirkzusammenhänge auf andere Weichenelemente, wie etwa das Gestänge, wären »

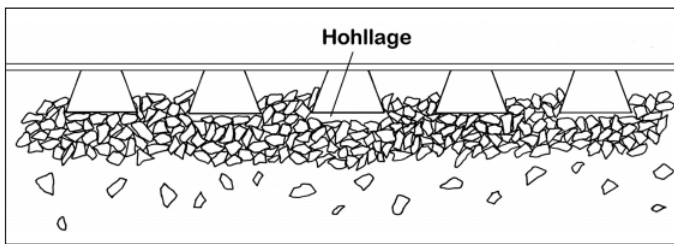


BILD 3: Schematische Darstellung der Schwellenhohlage nach [16]

häufigere Messungen jedoch vorteilhaft. An dieser Stelle kommen die eingangs erwähnten IIoT-Lösungen zu Hilfe. Relativ günstige Sensorik kann im Feld dauerhaft eingesetzt werden, ohne dass sich das EIU mit Fragen zur Energieversorgung, Kommunikation und Funktionskontrolle belasten muss.

WEICHENANALYTIK BASIEREND AUF DER KONUX LÖSUNG

Die Lösung der Firma KONUX setzt seitens der Hardware auf die Vorteile von IIoT, und verbindet diese mit smarterer Analytik und den vielfältigen Möglichkeiten künstlicher Intelligenz (KI). Im Portfolio befindet sich eine Systemlösung für die vollständig autarke Überwachung der in Bild 3 skizzierten Weichenschwellenhohlage (WSHL). Diese wird seit vergangenem Jahr in Zusammenarbeit mit der Deutschen Bahn pilotiert [14].

Der auf der Schwelle nachrüstbare Weichensensor (Bild 4), der den Ausgangspunkt der Lösung bildet, ist in der Zusammensetzung der Sensormodule speziell an die Anwendungsumgebung und die Anforderungen des Kunden angepasst. Er wird über eine Batterie mit Energie versorgt und überträgt die aufgezeichneten Daten drahtlos in

ein Back-End-System. Doch erst die Symbiose von Firmware und Analytik ermöglichen die hohe Leistungsfähigkeit.

Die Firmware steuert das System so, dass die Energieversorgung zwei Jahre lang garantiert ist – selbst bei hoher Zugfolge auf Hochgeschwindigkeitsstrecken. Zudem übernimmt die Firmware erste Schritte der Rohdatenverarbeitung sowie die Selbstüberwachung des Sensorsystems. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass das System durchgehend verfügbar ist.

Die Analytikplattform des Back-Ends liefert neben der Weichenschwellenhohlage weitergehende Aussagen, die für eine gesamthafte Zustandsbetrachtung relevant sind. Hierunter fallen beispielsweise Informationen zum Zugtyp und zu dynamischen Kräften. Das Prinzip ist in Bild 5 verdeutlicht. Durch die Integration und Fusion mit zusätzlichen Datenquellen auf Objekt- bzw. Informationsebene sind weitere Aussagen möglich, etwa zur Weichenbelastung oder zum Abnutzungs- und Verschmutzungsgrad des Schotterbetts. Die Systemlösung ist darauf ausgelegt, mit IIoT-Technologie und künstlicher Intelligenz Wissen zu extrahieren, dass auf traditionellem Weg nur sehr aufwändig bis gar nicht zu beziehen war.

Dies lässt sich am Beispiel der Weichenschwellenhohlage verdeutlichen. Bislang wird diese punktuell und mit manuellem

Einsatz gemessen, dabei sind mindestens zwei Instandhalter vor Ort im Gleis tätig. Die Arbeiten finden in der Regel bei kurzzeitiger Sperrung im Regelbetrieb statt. So wird Personal, und im ungünstigen Fall auch Trassenkapazität, gebunden. Messungen in kurzen Abständen, beispielsweise wöchentlich, wären so weder wirtschaftlich noch mit anderen Aufgaben der Instandhaltung vereinbar. Hinzu kommt, dass nur eine spezielle Größe – die Distanz zwischen Schwellenunterkante und Schotterbett – erfasst wird, wodurch sich der Zusammenhang zwischen dynamischen Kräften und Verschleiß kaum aufdecken lässt.

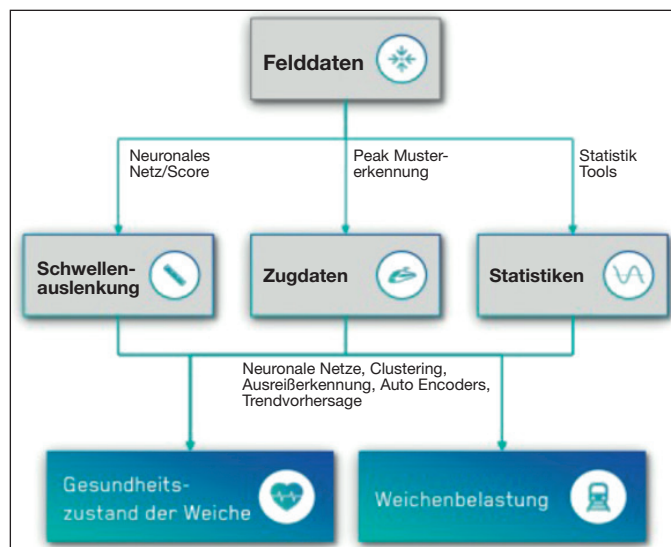
Eine gesamtheitliche Betrachtung des Weichenzustands profitiert von den KONUX-Messungen und der Analytik in hohem Maße, wenn diese mit Stellstromdaten, Fahrplandaten und weiteren Quellen kombiniert werden. Beispielsweise kann die Verschleißwirkung auf das Antriebsgestänge durch die Verbindung von Beschleunigungswerten, erkannten Zugtypen und statischen Zugparametern modelliert werden. Dies wiederum wird die Basis für eine Prognose der verbleibenden Nutzungsdauer und kann zudem für die optimale Ausnutzung der Wartungsgrenzwerte genutzt werden. Auch die oben angesprochene Störung „unzeitige Auffahrmeldung“ wird bei fusionierter Analyse in einer gesamthaften Betrachtung besser diagnostizierbar. Allein dadurch, dass die WSHL fortlaufend erfasst wird, ergibt sich ein Indikator auf die Ursache. Denn je größer die WSHL ist, desto wahrscheinlicher treten Schwingungen auf.

Darüber hinaus kann eine vielfältige Signalrepräsentation der fusionierten Beschleunigungs- und Stellstromwerte die Ursache verschiedener Störungen genau bestimmen. Die Analytikplattform bietet durch den Einsatz KI-basierter Algorithmen die richtigen Werkzeuge dafür (Bild 6). Ziel ist es, die hochfrequenten

BILD 4: KONUX WSHL-Sensor auf einer Betonschwelle



BILD 5: Verarbeitungs- und Fusionsprinzip



ten Daten in Merkmale zu transformieren, die für die Detektion, Diagnose und Prognose des Weichenzustands genutzt werden können. Obwohl die bei der Stellstromanalyse verwendeten statistischen und geometrischen Merkmale den Informationsgehalt einer Zeitreihe sehr gut repräsentieren [15], geht die Nutzung von künstlicher Intelligenz, insbesondere künstlicher neuronaler Netze, hier noch weiter. Die passende Netzarchitektur kann die Beziehung einzelner oder mehrerer Samplepunkte zueinander interpretieren. Außerdem ist eine mehrstufige Verarbeitung möglich, die der Fusion auf unterschiedlichen Ebenen Rechnung trägt.

Wie das Ganze in der Praxis aussehen kann, wird im Projekt „Smart Point“ gemeinsam mit der DB Netz AG im Rahmen ihrer Initiative „Intelligente Weiche“ erprobt. Bei „Smart Point“ werden verschiedene Datenquellen – sensorische Messungen wie die der WSHL und des Stellstroms, sowie der Fahrplan – integriert betrachtet. Das Projekt soll nicht nur identifizieren, wie die wichtigen Parameter des Gesundheitszustands einer Weiche kontinuierlich erfasst werden können, sondern in erster Linie eine Basis für noch genauere Diagnosen legen. Die Besonderheit liegt in der Auflösung der Grenzen zwischen Oberbau und LST, so dass eine gesamthafte Betrachtung der Wechselwirkungen beider Gewerke möglich wird.

Für die Deutsche Bahn ergibt sich durch dieses weitere Digitalisierungsprojekt ein breites Nutzenpotenzial:

- Genauere Diagnosen sorgen für eine schnellere Entstörung
- Wiederholte Ausfälle werden reduziert
- Mitarbeiter können sich auf die Instandhaltung konzentrieren, anstatt sich mit manueller Messung und Auswertung aufzuhalten

Insgesamt sollen die Störungen an Weichen und Kosten der Instandhaltung weiter reduziert werden.

AUSBLICK IN DIE ZUKUNFT

„Smart Point“ und die gesamthafte Zustandsbetrachtung sind eine Etappe der fortschreitenden Digitalisierung. Diese wird sich über die Weiche hinaus auf weitere Infrastrukturelemente ausdehnen. Gemäß des Grundgedankens hinter einem vernetzten Internet der Dinge sollen auch alle Anlagen im Bahnnetz miteinander verbunden sein, selbstverständlich bei Wahrung der bestehenden Sicherheit. Die Ausdehnung auf weitere Assets und die Einbindung weiterer Datenquellen wird auf der technischen Seite gestiegene Anforderungen mit sich bringen. Die zu verarbeiten-

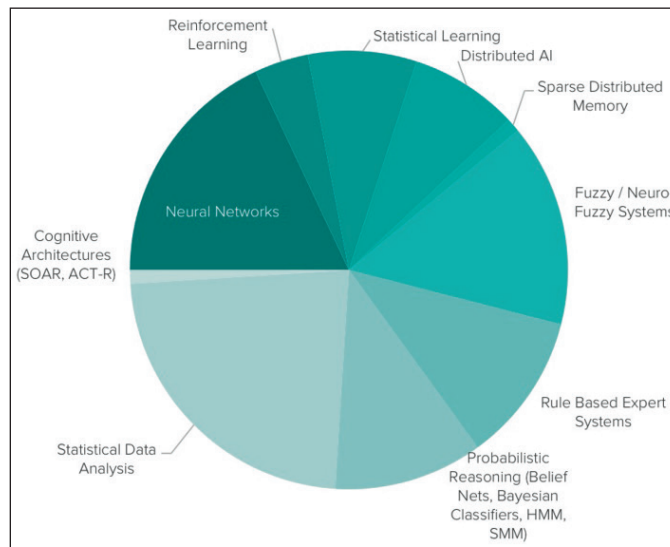


BILD 6: Methodengruppen der künstlichen Intelligenz

den Quellen werden verteilter, heterogener und ihre Gesamtheit wird sich häufiger ändern. Entsprechend müssen Kommunikation und Verarbeitung flexibel und skalierbar sein. Dies ist ein weiterer Grund, weshalb KONUX auf IIoT-Technologien setzt.

Parallel zur Erhöhung der Anlagen schreitet die Entwicklung der Prädiktion voran. Das Ziel ist es, letztlich Störungen so genau und präzise vorherzusagen, dass sie tatsächlich planbar verhindert werden können. Die Erfolge, die mit Deep Learning im Bereich der Objekterkennung und -klassifikation erzielt wurden, werden sich auf die Zeitreihenanalyse bei unüberwachter Merkmalsdefinition übertragen. Ob dabei in absehbarer Zeit ähnlich große Fortschritte wie bei der Klassifikation erreicht werden bleibt abzuwarten. Wichtig ist, alle sensorischen und analytischen Möglichkeiten optimal zu nutzen – für eine rundum gesunde Weiche und ein rundum gesundes Netz. ◀

Literatur

- [1] Rausch, W.: Diagnosesysteme für Weichen als Grundlage für eine optimierte Instandhaltungsplanung. In: VDEI (Herausgeber): Symposium zum Thema: Moderne Instandhaltungsverfahren für Weichen Qualitätsansprüche Wirtschaftlichkeit. Brandenburg-Kirchmöser, 2010.
- [2] Cocciaglia, D.: Case Study: Switch&Crossing Diagnostics, Cost Optimisation Track Maintenance and Renewal Congress, London, UK, 2012.
- [3] DB Netz AG: Infrastrukturzustands- und -entwicklungsbericht 2015: Internetversion, April 2016.
- [4] Fendrich, L. (Herausgeber): Handbuch Eisenbahninfrastruktur, Band 10 der Reihe Handbuch Eisenbahninfrastruktur. Springer and Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin and Heidelberg, 2007.
- [5] Fiedler, J.: Bahnwesen: Planung, Bau und Betrieb von Eisenbahnen, S-, U-, Stadt- und Straßenbahnen. Werner-Ingenieur-Texte. Werner, Düsseldorf, 4., Neubearb. und erw. Auflage, 1999.
- [6] DB Netz AG: Richtlinie 821: Oberbau inspizieren, 2010.
- [7] DB Netz AG: Richtlinie 892: LST – Anlagen montieren und instandhalten, 2002.
- [8] Strukton Systems: POSS axle load wheel condition & wheel profile check, Version 4, Strukton.
- [9] Rayes, A; Salam, S: The Things in IoT: Sensors and Actuators, In: Internet of Things From Hype to Reality, Springer International Publishing, 2017, S. 57 – 77.

- [10] DIN Deutsches Institut für Normung: DIN EN 13306:2006: Grundlagen der Instandhaltung, Beuth Verlag, Berlin, 2006
- [11] CapaCity4Rail: Operational failure modes of Switches and Crossings, Public Deliverable D 1.3.1 of the FP7 Project under GA-number 605650, May 2015.
- [12] voestalpine product presentation, Oktober 2016, <http://railwaypro.com/summit/presentations/d-don.pdf>
- [13] Deutsche Bahn AG: DIANA legt Weichen ans EKG. Diagnose- und Analyseplattform: Die digitale Weichen diagnose der DB, 2017. http://www.deutschebahn.com/de/presse/suche_Medienpakete/12755526/DIANA_legt_Weichen_ans_EKG.html
- [14] Deutsche Bahn AG: Hoher Freiheitsgrad trifft auf Großkonzern. Die DB setzt auf die Dynamik junger Unternehmen und Startups, 2017. http://www.deutschebahn.com/de/Digitalisierung/startups/db_startups.html?hl=konux
- [15] Schenkendorf, R.; Böhm, T.: Aspekte einer datengetriebenen zustandsabhängigen Instandhaltung: (Teil 1) Informative Merkmalsextraktion als Basis einer zuverlässigen Zustandsdiagnose, EI – Der Eisenbahningenieur 11 2014, S. 14 – 18
- [16] Holtzendorff, K.: Untersuchung des Setzungsverhaltens von Bahnschotter und der Hohlagenerwicklung auf Schotterfahrbahnen, Dissertation, Technische Universität Berlin, Fakultät, Berlin 2003

▶ SUMMARY

Analytical systems: Smart sensors and artificial intelligence for ensuring the optimum condition of switches and crossings

Switches and crossings are amongst the essential components for an efficient and flexible railway operation. Disruptions to them are closely associated with minutes of late running, which is why infrastructure managers are relying more and more on continuous monitoring using sensors. Novel IIoT sensors in combination with smart analytical systems facilitate the holistic consideration of condition. That is the approach being followed by KONUX in its system solution for the analysis of switches and crossings. It combines IIoT hardware with artificial intelligence and makes it possible for Deutsche Bahn, for instance, to make predictive maintenance into a reality.