

IM FOKUS: MAINTENANCE

# Denkende Maschinen: KI treibt Predictive Maintenance

» Wie sieht die Instandhaltung von Maschinen und Anlagen in naher Zukunft aus? Die eine Seite proklamiert Industrie 4.0 als Schlüsseltechnologie, andere sind in Anbetracht der grossen Datensammelwut skeptisch. Fakt ist, dass bereits heute viele Maschinen- und Prozessdaten zur Verfügung stehen – sie müssen allerdings intelligent genutzt werden.

Autoren: Christoph Netsch, Mario Russi, Philipp Schmid



Bild: Zentralbahn

Zentralbahn zwischen Luzern und Interlaken.

Ort, Zeit und Intensität eines Unwetters zuverlässig vorhersagen – dieser Wunsch ist wohl so alt wie die Menschheit selbst. Auch jeder Maschinenbauer und Betreiber einer Anlage wünscht sich eine zuverlässige Prognose, wann die einzelnen Komponenten das Ende ihrer Lebensdauer erreichen. Ziel ist, den Betrieb langfristig sicherzustellen, Fehler frühzeitig zu erkennen und Ausfälle zu verhindern. Dank hochwertigen Daten, günstig verfügbarer Rechenleistung und neuen Algorithmen aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz kommt dieses Ziel in greifbarer Nähe. Beispiele aus Antriebstechnik und Sondermaschinenbau zeigen neuste Erkenntnisse aus der angewandten Forschung auf.

## KÜNSTLICHE INTELLIGENZ BESCHLEUNIGT DEN DURCHBRUCH

Das Rückgrat unserer modernen Infrastruktur bilden eine Vielzahl teils äusserst komplexer, technischer Systeme. Adrian Bieg, Senior Engineer Flottentechnik bei der Zentralbahn, verantwortet die Instandhaltung und Weiterentwicklung einer Flotte von 37 Triebfahrzeugen von Luzern bis Engelberg/Interlaken. «2019 kam es zu einem Getriebeschaden, [...] ein Fahrzeug blieb auf dem Brünigpass stehen», berichtet er. Die Ursache wurde im Nachhinein identifiziert, da ähnliche Schadensbilder im Frühstadium in der Werkstatt entdeckt wurden. Der Messingkäfig im Wälzlager des Zahnradantriebs war ohne jegliche Vorankündigung gebrochen. Ein weiterer Getriebeschaden sei, um jeden Preis zu verhindern, oder gar, dass ein Fahrzeug auf der Strecke stehen bliebe. Seitdem schenken die Instandhaltungsmitarbeitenden der Zentralbahn bei jeder Inspektion dem Lager besondere Aufmerksamkeit. Das Auffinden von Messingpartikeln im Schmieröl seien eindeutige Warnsignale eines bevorstehenden Lagerschadens, doch die erfahrenen Techniker seien bereits früher in der Lage, anormale Kratzgeräusche in ungesunden Lagern zu erlauschen.

Doch, wie gelingt es diesen Erfahrungsschatz, gesammelt über viele Berufsjahre, in der Werkstatt zu konservieren? Können wir das nicht greifbare Domänenwissen einer Vielzahl von Experten gar vereinen und möglichst in Echtzeit anwenden, um die hundertprozentige Ausfallsicherheit unserer technischen Systeme zu gewährleisten? Die künstliche Intelligenz ist ein Schlüssel zu diesem Durchbruch. Gegenüber klassischen Methoden, welche zumeist aus spezifischen Schwellwerten als Indikatoren für eine fällige Revision besteht, lernt die künstliche Intelligenz Fehlerbilder komplexerer Natur zu erkennen, und das zu einem Zeitpunkt, wo keine herkömmliche Methode den Fehler bereits zu erkennen vermag.

## DATEN, DATEN, DATEN...

Damit eine entsprechende Lösung auf der Schiene läuft, bedarf es dreier Erfolgsfaktoren: Als Fundament dienen Daten, die teils über Monate des Maschinenbetriebs hinweg aufgezeichnet wurden. Jedoch nur die Fusion dieser Daten mit den Beurteilungen von erfahrenen Expertinnen und Experten schafft die Grundlage für ein Diagnosetool mit Mehrwert. Der dritte Erfolgsfaktor ist die Expertise des Machine Learning Ingenieurs, der mit modernsten Softwarewerkzeugen die perfekte Lösung massschneidert.

## DER WEG VON DER IDEE ZUM ALGORITHMUS

Adrian Bieg kontaktierte das CSEM, ein Schweizer Forschungs- und Entwicklungszentrum. Er habe sich erhofft eine Lösung für ein Problem zu finden, das mit konventionellen Ansätzen nicht zu lösen gewe-

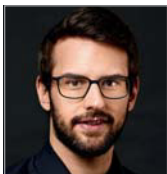
Zahnradgetriebe:  
gebrochener  
Lagerkäfig führt  
zu einem ab-  
rupten Stillstand.



Bild: Zentralbahn



**Christoph Netsch**  
R&D Engineer  
Deep Learning,  
CSEM.



**Mario Russi**  
Senior R&D Engi-  
neer Robotics &  
Machine Learning,  
CSEM.



**Philipp Schmid**  
Head Research  
and Business  
Development  
Industry 4.0 &  
Machine Learning,  
CSEM.

sen sei. Als das Projekt begann, lagen bereits Vibrationsaufzeichnungen der Wälzlager zweier Züge vor – eines gesund und eines mit dem Verdacht auf einen Lagerschaden im Frühstadium. Schon bei der Analyse dieser Daten waren geringfügige Unterschiede in den Vibrationsfrequenzen der beiden Lager zu erkennen. Zu wenige Daten jedoch, um einen Algorithmus zu trainieren. Wie kann man nachweisen, dass ein Diagnosetool, entwickelt auf Datenbasis eines einzelnen fehlerhaften Zuges, in der Lage sei, die gleiche Zuverlässigkeit auch bei neuen Zügen mit ähnlichen Defekten an den Tag zu legen? Über Monate hinweg zeichnete das Team an jedem Zug, der auf dem Wartungsgleis stand, die Vibrationsdaten am Zahnradantrieb auf. Zwar ohne Belastung wie im Feld, aber dafür einfach in der Werkstatt durchführbar. Bei den gesunden Lagern wie auch bei den ungesunden wurden akribisch Kilometerstände und Ölqualität dokumentiert und die Experteneinschätzungen zu den Lagern ergänzt.

### DETEKTION VON DEFECTEN BEI WÄLZLAGERN

Nach dieser Vorarbeit entwickelten Ingenieure des CSEM einen Algorithmus zur frühzeitigen Detektion von Fehlern der Wälzlager. Auch bei der Diagnose an noch nicht aufgezeichneten Zügen gelingt es dem Algorithmus, mit einer Sicherheit von über 90 Prozent zu detektieren, ob ein Defekt vorliegt. «Wir wollen im Idealfall Schädigungen feststellen, bevor sie optisch oder akustisch erkennbar sind», so Adrian Bieg. Das Ziel sei, ein Modell aus den Fristigkeiten für den optimalen Zeitpunkt der nächsten Revision herleiten zu können. Dies erlaubt es, Schwachstellen im System, welche nur mit grossem Aufwand ausserhalb einer Revision behoben werden können, zu überwachen und einen ausfallsicheren Betrieb bis zur Behebung zu gewährleisten. Reparaturen werden mit genügend früher Erkennung planbarer und frühzeitige Revisionen können vermieden werden. Wie so oft bedarf es dafür einer perfekten Symbiose: viele hochwertige Daten und menschliche Expertise.

### KOMPLEXE ANALYSE BEI SONDERMASCHINEN

Kein technisches System gleicht haargenau dem anderen und je individueller ein System, desto spezifischer fällt die Lösung aus. Am CSEM forscht man daher seit geraumer Zeit an generischen Algorithmen für die Zustandserkennung von Maschinen und Prozessen. Im Gegensatz zu Lösungen, die für spezifische Anwendungen entwickelt werden, sollen generische Algorithmen maschinen- und prozessunabhängig sein. Mit Hilfe von verschiedenen Industriepartnern wurde für Entwicklungs- und Testzwecke eine repräsentative Produktionsmaschine aufgebaut. Diese erlaubt es, kontinuierlich über 80 Sensorwerte und Prozessparameter aufzuzeichnen, fehlerhafte Zustände real auf der Maschine zu implementieren und neue Algorithmen zu entwickeln.

Die Schwierigkeit besteht darin, dass es zu Beginn nur wenige Daten gibt und noch kaum Störfälle aufgetaucht sind. Dank speziellen neuronalen Netzwerken kann trotzdem ein robuster Health-Indikator bestimmt werden, welcher den allgemeinen Zustand der Maschine anzeigt. Die künstliche Intelligenz eignet sich quasi Erfahrung über die Maschine an und speichert diese als einen digitalen Zwilling ab. Ein solches System detektiert früh jegliche Abweichungen der Maschine und erkennt auch, welche Kombination von Inputsignalen dafür verantwortlich ist. Zu Beginn treten viele Fehlalarme auf, aber genau diese helfen, die Software weiter zu verbessern. Fachspezialisten beurteilen die Auffälligkeiten, beheben gegebenenfalls die Ursache und liefern dadurch wertvolle Annotierungen zu den Datensätzen. In einer zweiten Stufe wird ein spezielles Klassifikations-Netzwerk trainiert. Dieses wertet alle Auffälligkeiten vom ersten Algorithmus aus, erkennt Fehlalarme und weist den echten Fehlern die eindeutige Ursache zu. Aufgrund der Architektur der verwendeten Algorithmen spielt die Natur und Anzahl der verwendeten Signale und Sensoren keine Rolle. Somit ist es möglich, diese Lösung ohne grossen Aufwand für neue Maschinen, aber auch Prozesse, zu nutzen.

Notwendig sind lediglich Daten des einwandfreien Betriebs der Maschine.

Aktuell wird an der Testmaschine intensiv an Lösungen für die zeitliche Vorhersage eines Defektes gearbeitet. Hier kommen Algorithmen zum Einsatz, welche sich in Textanalyse und Übersetzung (DeepL) bewährt haben. Alle Signale einer Sondermaschine sind aber noch komplexer als geschriebener Text. Es gibt bereits vielversprechende Ansätze, welche aber noch zu viele Trainingsdaten benötigen.

### ZUSAMMENFASSUNG

Die Instandhaltung steht vor einer technologischen Revolution. Ganz gleich ob im Infrastrukturbereich oder in der Industrie: die Werkzeuge der künstlichen Intelligenz werden es ermöglichen, im Spannungsfeld von Kostendruck und steigenden Erwartungen an Anlagenverfügbarkeiten optimal zu navigieren. Ihre Wirkung können die neuen Werkzeuge am besten dort entfalten, wo hochwertige Daten und die Erfahrungen von Fachexperten mit den Kenntnissen des Machine Learning Engineers zusammengeführt werden. Die künstliche Intelligenz erlaubt die Entwicklung spezialisierter Lösungen, massgeschneidert auf die hochkomplexen Probleme eines Instand-



Predictive Maintenance Testmaschine mit Feeder, Roboter, Kameras und Förderbänder.

halters. Rasante Fortschritte in der Forschung versprechen schon in naher Zukunft zunehmend generisch applizierbare Algorithmen. Künstliche Intelligenz wird in den Anlagen der Zukunft eine entscheidende Rolle spielen. <<<

#### CSEM

CSEM – Schweizer Forschungs- und Entwicklungszentrum mit Schwerpunkt Mikrotechnologie, Digitalisierung und Energie. Mission: Technologietransfer in die Industrie.



#### Vernetzt. Smart. Nachhaltig.

Effizient, vernetzt und überzeugend: das ist der LAUFEN Smart Bathroom. Setzen Sie in öffentlichen und halböffentlichen Sanitäranlagen auf eine kabellose Anbindung an Ihre Gebäudeleittechnik. Das macht das Einstellen, Auswerten und Warten schneller, kostengünstiger, ökologischer, hygienischer – und vor allem smart.



SWISS BAU

BRINGT ALLES ZUSAMMEN. 18.- 21. Januar 2022

HALLE 2.2, STAND A18 & B18

LAUFEN.CH  
LAUFEN 1892 | SWITZERLAND