

# VORBEUGENDE INSTANDHALTUNG

**Die vorbeugende Instandhaltung (VI) im Zeitalter von Industrie 4.0 ist ein immer noch schwer zu realisierendes Konzept aus verschiedensten Fachgebieten der Naturwissenschaften, welches die klassische Instandsetzung erst noch ernsthaft von ihrer Daseinsberechtigung überzeugen muss.** Text: Daniel Jaroszewski\* und Larissa Laumann\*

**N**eben vielen Konzepten aus der Informatik, zusammengefasst unter dem Wort *Big Data*, und Expertensystemen aus den einzelnen Gebieten der Ingenieurwissenschaften spielt hier die angewandte Mathematik eine entscheidende Rolle. Eine grundlegende Fragestellung ist nämlich, ob erfasste Daten an den entsprechenden Systemen überhaupt genügend Informationsgehalt für prospektive Aussagen besitzen.

Die Mathematik kann dazu Antworten liefern. Es müssen mathematische Modelle entwickelt werden, die die eher univariaten Betrachtungsweisen verlassen und Systeme mehrdimensional abbilden. Wie bisher besteht die Hauptaufgabe in der Planung und Abwicklung von Instandhaltungsmassnahmen vor Eintritt eines bestimmten schadensbedingten Anlagenzustandes. Unter Einbeziehung des aktuellen Systemzustandes werden Wahrscheinlichkeiten für Komponentenausfälle berechnet, um daraus wiederum Massnahmen, wie Inspektionen und Wartungen, abzuleiten.

Verschiedenste Industrien können ihre Instandhaltungsprogramme an die neue Situation der Messdatenerfassung anpassen. Die Steigerung der Systemverfügbarkeit ist das angestrebte Ziel. Ausgeklügelte Algorithmen und schnelle Kommunikationswege ermöglichen ein frühzeitiges Reagieren auf Systemstörungen.

## Neue Berufsprofile

Eine Abteilung, die sich der VI widmet, sollte die zentrale Anlaufstelle für Beratung und Projektunterstützung sein. Sie leitet alle analytischen Aufgaben, betreibt

die Dateninfrastruktur, organisiert regelmässige Treffen für den gegenseitigen Austausch und hat den Überblick über die laufenden Projekte. Zudem bildet sie die Schnittstelle zwischen IT-Experten und Spezialisten aus den Werkstätten.

Die Personalausstattung setzt sich aus folgenden Berufsbildern zusammen:

- Data Architect
- Data Analyst
- System Specialist

Der Data Architect stellt neue Daten im Datenpool zur Verfügung und definiert die zugehörige Datenarchitektur. Er vereint die fachlichen und technischen Anforderungen der Datenanalyse und hat ein ausgeprägtes Know-How im Bereich der Informatik.

Ein Data Analyst beschäftigt sich in der Regel intensiv mit der Analyse von Daten und hat eine solide mathematische Ausbildung. Insbesondere ist er mit den gängigen Verfahren der Multivariaten Statistik und des Maschinellen Lernens vertraut. Ihm

steht die gesamte Dateninfrastruktur zur Nutzung zur Verfügung. Seine analytischen Resultate stellt er in regelmässigen Meetings in den laufenden Projekten vor.

Ein System Specialist kennt das System, an dem die Daten anfallen und bringt das fachliche Know-How ein. Systemstruktur und strukturelle Abhängigkeiten versucht er mit den beiden anderen Parteien abzubilden und bewertet die Ergebnisse, welche der Data Analyst ihm in regelmässigen Meetings vorlegt. Die Ergebnisse werden dann in geeigneter Form an die Werkstätten weitergeleitet.

## Die Rolle der Informatik

Der Weg von einer Sensormessung an einer Komponente über das entsprechende Bus-System hin zur Datenbank im Rechenzentrum ist lang. Daraufhin folgen Berechnungen von aktualisierten Systemaussagen sowie deren Archivierung und Visualisierung. Der Automatisierungsgrad sollte daher möglichst hoch sein. Aus Sicht der Informatik ist es aber vor allem entscheidend, die grosse Menge an Daten möglichst roh zu archivieren und schnelle Zugriffsroutinen zu schreiben.

Eine geeignete Wahl eines Datenbankkonzepts spielt hier eine entscheidende Rolle. Neue Architekturen wie zum Beispiel Hadoop (skalierbare, verteilt auf verschiedenen Rechnern arbeitende Software) fordern bisherige relationale Datenbanken heraus, da diese üblicherweise unter Leistungsproblemen bei datenintensiven Applikationen leiden.

Unabhängig von der Wahl der Datenbank unterscheiden wir zwischen drei verschiedenen Datenquellen: Sensormessungen,



Verschiedenste Industrien können ihre Instandhaltungsprogramme an die neue Situation der Messdatenerfassung anpassen.



Es wird definitiv keine Lösung aus nur einem der vier vorgestellten Fachgebiete entstehen, da sich diese gegenseitig bedingen. (Bilder: Fotalia [madpixblue / belkaelf25 / Rzoog / Jürgen Fälchle])

Diagnoseereignisse und Instandhaltungsinformationen.

### Die Rolle der Mathematik

Algorithmische Verfahren müssen aus historischen Daten Modelle generieren, welche jeden neuen Zustandsvektor auf vorher trainierte Ausgänge bewerten. Wir unterscheiden zwischen folgenden Prognosemethoden:

- Anomaliedetektion
- Mustererkennung
- Zeitreihenvorhersage

Die Anomaliedetektion deckt mehrdimensionale, abnormale Systemzustände auf und signalisiert dem Betreiber Systemdekorrelationen, was bedeutet, dass ein System sich nicht wie in der Vergangenheit verhält. Entscheidend sind die Ermittlung einer geeigneten Referenzmenge, das Aggregationslevel und die Abbildung der mehrdimensionalen Abhängigkeiten.

Eine grundlegend andere Methode ist die Mustererkennung. Hier möchte man vergleichbare Systemausfälle in der Historie auf Basis von Sensor- oder auch Diagnose-daten erlernen. Die zentrale Aussage, die die Mathematik im Rahmen der Multivariaten Statistik leisten muss, ist die Beantwortung folgender Frage: «Mit welcher Wahrscheinlichkeit  $P$  tritt ein Ereignis  $X$  im Planungshorizont  $H$  ein, wenn ein gegebener gemessener Systemzustand vorliegt?»

Im Überwachungsprozess wird eine Eintrittswahrscheinlichkeit für das Eintreten bestimmter Ereignisse berechnet, natürlich wieder auf Basis der aktuell erfassten

Daten am System. Man bedient sich zur Beantwortung dieser Frage des Similarity Sampling, binärer Klassifikationsverfahren und multivariater Regressionsverfahren.

Die letzte Verfahrenssäule ist die Zeitreihenvorhersage mit entsprechendem Einschränkungen des *gesunden* Zustandsraums. Die Aufgabe besteht darin, einen mehrdimensionalen Systemprozess über einen möglichst langen Horizont zu prognostizieren. Die so erzeugten mehrdimensionalen Trajektorien werden dann, für jeden Punkt auf einem vorgegebenen Zeitraster im Planungshorizont einem Test hinsichtlich der Kritikalität unterworfen. In Absprache mit den Instandhaltern kann dieser Test aus einem aufwändigen *Fehlerbaum* bestehen oder gegebenenfalls auch einfach die Einhaltung gewisser Unter- und Obergrenzen für jede Komponente der Trajektorie überprüfen. Je nach Testergebnis werden dann Warnungen ausgesprochen. Falls die Prognose auf der Basis einer Monte-Carlo-Simulation erfolgt, kann die relative Anzahl von Trajektorien, die auf Kritikalität hinweisen, auch noch zu einer Wahrscheinlichkeitsaussage dienen.

### Die Rolle der Ingenieurwissenschaften und der Logistik

Die Rolle der Ingenieurwissenschaften hat in diesem Kontext eine beratende Funktion. Häufig besteht die Notwendigkeit, gewisse Auffälligkeiten in den Daten äusseren Einwirkungen zuzuordnen wie beispielsweise Inspektionen oder ob Änderungen des Systemverhaltens durch kontrollierte Regulierung erfolgt ist. In diesen Fällen dürfen solche Auffälligkeiten nicht zum Trainieren maschineller Erkennungs-, Forecast- und Klassifikationsverfahren herangezogen werden, eben weil sie nicht unbedingt mit den beobachteten Mustern korreliert werden können.

Des Weiteren ist es eine Ingenieuraufgabe, die Daten daraufhin zu inspizieren, ob die Menge der verwendeten Signale ausreichenden Zusammenhang mit den vorherzusagenden kritischen Ereignissen hat.

Um in der Werkstatt Handlungsempfehlungen aussprechen zu können, erfordert es für den Ingenieur automatisch erzeugte Warnungen auf Plausibilität zu überprüfen. Im nächsten Schritt sollte der Analyst bei der Suche nach Mustern für spezielle

Ereignisse oder Komponentenausfälle unterstützt werden und zu empfehlende Massnahmen in die Prozesskette eingebaut werden.

Sobald die VI ihre Aufgabe zuverlässig erfüllt, die darin besteht möglichst wenige Fehler erster Art («Blinde Alarme») und gleichzeitig möglichst wenige Fehler zweiter Art («Übersehene Defekte») zu erzeugen, so kann man ihre Ergebnisse verwenden, um die Werkstatt zu planen.

Zum einen sei hier die Planung der Ersatzteilhaltung genannt. Ist nämlich die Lieferzeit eines Ersatzteils kürzer als die Zeit, die zwischen Defektprognose und Eintritt des kritischen Ereignisses verstreicht, so muss – in diesem Idealfall – kein Ersatzteil auf Lager liegen, sondern bei unmittelbarer Bestellung trifft das benötigte Teil vor Eintritt des Ereignisses ein.

Ein ähnlicher Effekt ergibt sich in Bezug auf die Sequenzierung der Werkstattvorgänge. Je grösser die Vorwarnzeit ist, umso grösser ist der mittlere Arbeitsvorrat, was wiederum für effizientere Maschinenbelegung genutzt werden kann.

### Verlassen der Machbarkeitsstudien

In der Praxis werden Algorithmen mit prospektiven Aussagen benötigt, jedoch müssen diese auch präzise sein, um die Wartung auch tatsächlich sinnvoll zu unterstützen. Im Sinne einer Master-Slave Situation gibt das von der Instandsetzung vorgegebene Programm den Ton an und erzeugt mit der Logistik Restriktionen an denen sich das mathematische Modell kalibrieren muss.

Wenn zum Beispiel ein Algorithmus mit zu hundert Prozent zuverlässiger Wahrscheinlichkeitsaussage ohne Fehlalarme in einem Prognosehorizont von einer Stunde Ereignisse vorhersagen kann, ist es aus mathematischer Sicht ein Erfolg, jedoch erzeugt es keinen Mehrwert für das bestehende Instandhaltungsprogramm, wenn die logistische Infrastruktur nicht ausreicht, um innerhalb von einer Stunde angemessen zu reagieren.

Um die Welt der Studien zu verlassen, ist vor allem das Engineering in der Pflicht, Minimalbedingungen zu formulieren, unter denen mathematische Wahrscheinlichkeitsaussagen das tägliche Geschäft unterstützen. Abhängig vom Mass in wie weit diese Vorhersagebedingungen eingehalten

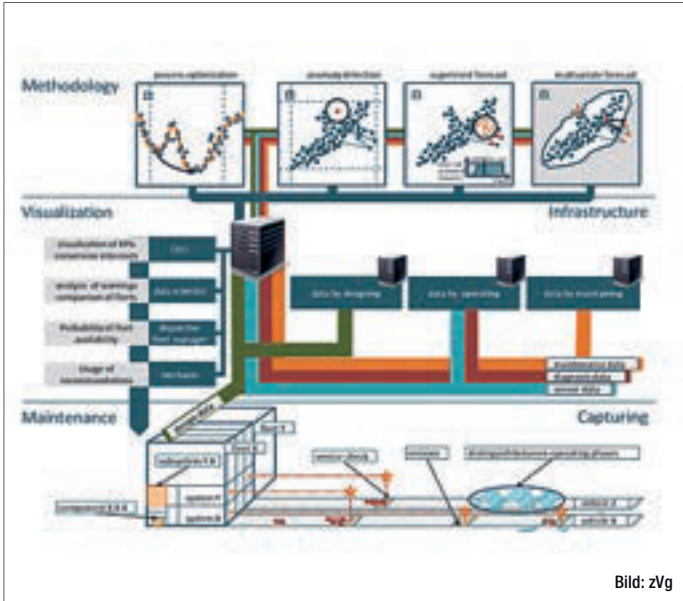


Bild: zVg

Eine geeignete Wahl des Datenbankkonzepts spielt eine entscheidende Rolle.

werden können, sollten Instandhaltungsprogramme diese zusätzlichen Informationen in ihre Prozesskette einbauen. Die Transformation von Wahrscheinlichkeitsaussagen in Handlungsempfehlungen und die zielgerichtete Visualisierung mit neuesten Technologien verstehen wir als das anzustrebene Ziel.

Es wird definitiv keine Lösung aus nur einem der vier vorgestellten Fachgebiete entstehen, da sich diese gegenseitig bedingen. Die Entwicklung eines Bewusstseins des Miteinanders muss im Bereich der VI erreicht werden. Gerade weil die Interessenschwerpunkte der einzelnen Parteien in der Realität auseinandergehen, sind auf diesem Gebiet bisher nur kleine Erfolge zu vermelden.

Zwar suggerieren die grossen Datenbankanbieter die Beherrschbarkeit der Stochastik, jedoch handelt es sich eher um die Archivierung, den Zugriff und die Visualisierung von Massendaten. Das Aussprechen von zuverlässigen Aussagen auf Grundlage von zyklisch erfassten Daten ist ein langer Weg, auf den wir uns schon seit etwa zehn Jahren begeben haben.



**\*Daniel Jaroszewski**  
Project Manager Predictive Maintenance Rail & Aviation bei FCE Frankfurt Consulting Engineers GmbH



**\*Larissa Laumann**  
Data Architect & Data Analyst bei FCE Frankfurt Consulting Engineers GmbH



Messe München  
Connecting Global Competence



Leitmessen und Konferenz  
für industrielle Instandhaltung  
18.-20. Oktober 2016  
Messe München  
[maintain-europe.com](http://maintain-europe.com)



**Profitieren Sie vom neuen Konzept!**

- Für den umfassenden **Marktüberblick** – maintain Messe
- Für den **Erfahrungsaustausch** mit Spezialisten – maintain Konferenz
- Für den kompakten **Einblick** in gelebte Praxis – maintain Ausstellerforum
- Für die **Vertiefung** von Spezialwissen – maintain Academy
- Für das direkte **Erlebnis** von Instandhaltung – maintain Experience

Treffen Sie Ihre Community:  
[maintain-europe.com/ticket](http://maintain-europe.com/ticket)



**Kontakt:** BTO Solutions Schürch  
Tel. 044 350 3602 · [info@bto-solutions.ch](mailto:info@bto-solutions.ch)