

Predictive Maintenance und der Faktor Mensch – eine Kombination, die wirkt

Die Erwartungen an Konzepte der prädiktiven Instandhaltung sind groß. Im Sondermaschinenbau sind solche Methoden durch oftmals fehlende Referenz- und Trendwerte schwer anwendbar. Konkrete Analyseansätze bereiten den Weg zu einem umfassenden Verständnis einer Maschine als Basis für Handlungsempfehlungen. Besonders wirkungsvoll ist eine Verbindung der Entwicklungskompetenz des Herstellers mit der Praxiserfahrung der Betreiber – eine Chance, von der beide Seiten profitieren.



In Betrieb und Wartung von Maschinen kann man durch Methoden der prädiktiven Instandhaltung nachhaltig Ausfallrisiken und Wartungskosten senken. Besonders im Bereich der Gleisbaumaschinen ist es durch das hohe Maß von Individualisierung schwierig, vorhandene, etablierte Konzepte aus dem allgemeinen Maschinenbau anzuwenden. Kann das nicht künstliche Intelligenz lösen?

Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) unterstützen heute Tätigkeiten in vielfältigen Bereichen, so auch in der Datenanalyse. Eine Verallgemeinerung, bei der man einfach Rohdaten in ein KI-Modell „füttert“ und sich daraus akkurate Handlungsempfehlungen ableiten lassen, ist zumindest für Sondermaschinen schwer möglich – oder nicht ausreichend in der

Aussagekraft. Etwas liegt in der Natur der Sache: Einzelanfertigungen können sich nicht an Trends aus einer Flottenbetrachtung orientieren. Daher ist es notwendig, spezifisch auf die jeweiligen Begebenheiten einer betrachteten Sondermaschine einzugehen, um konkrete, belastbare Aussagen machen zu können.

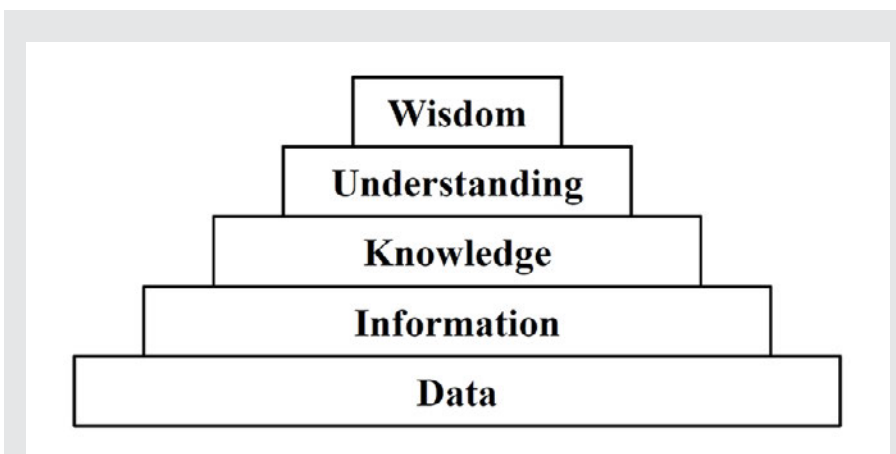
1. Die Grundlage: Daten

Wir bewegen uns im Gleisbausektor im Sondermaschinenbau: Fast jede Maschine ist eine Einzelanfertigung. Auch bei verstärkten Bestrebungen in Richtung Standardisierung und Vereinheitlichung bei neu gebauten Gleisbaumaschinen, bleibt ein wesentlicher Anteil der Bestandsflotte, der durch vorgelagerte Maßnahmen wie



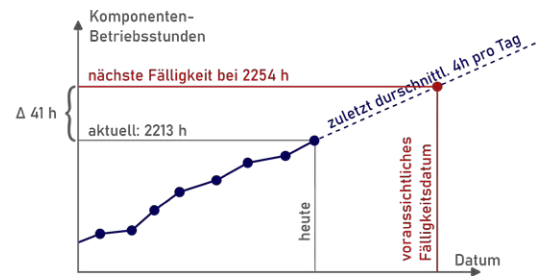
Dipl.-Ing. Dr.mont. Christopher Josef Rothschedl
 Head of Digital Services Competence Centre, Plasser & Theurer, AT-Wien
 christopher.rothschedl@plassertheurer.com

Retrofit und Revitalisierung besondere Aufmerksamkeit von vielen Maschinenbetreibern erhält. Schließlich wurde für eine Maschine einiges an Zeit und Geld investiert, sodass moderne Features zur Grundausrüstung zählen sollten. Somit steht man vor der Problematik, jede Maschine individuell mit einer Datenerfassungseinheit auszustatten, die mehr als nur Motordaten erfasst und trotzdem flexibel genug ist, um auf Maschinen unterschiedlichen Typs und unterschiedlichen Alters aufgebaut zu werden. Plasser & Theurer setzt dafür die Digitalisierungslösung von Track Machines Connected (tmc) ein, bestehend aus einem Edge-Device auf der Maschine und einem webbasierten Portal, genannt Plasser Datamatic. Diese ist voll in die firmeneigene Steuerungsarchitektur eingebunden, um auf sichere Art und Weise betriebs- und wartungsrelevante Daten aufzeichnen zu können [1].



1: „Data Mining Wisdom Pyramid“ von Embrechts [3] als Erweiterung von Ackhoff [4] bildet einen hierarchischen Zusammenhang, auf dessen Basis Maschinenverständnis von Rohdaten abgeleitet werden kann [2]

ID	Kategorie	Einheit	verbleibend	voraussichtliche Fälligkeit
3	Inspektion	Komponentenbetriebsstunden	41	30.08.2024
5	Inspektion	Komponentenbetriebsstunden	20	03.09.2024
12	Tausch	Stopfungen	112350	30.09.2024
8	Tausch	Tage	93	20.11.2024
2	Service	Kilometer	57000	07.12.2024



2: Abschätzung der voraussichtlichen Fälligkeiten von Inspektionen und weiteren geplanten Aktionen auf Basis von Einsatzrends [5]

2. Von Daten zu Handlungsempfehlungen

Viele „gute“ Daten haben noch keinen Wert per se, man muss daraus erst Informationen ableiten, um im weiteren Sinne verstehen zu können, welchen digitalen, datenbasierten Fingerabdruck die untersuchte Maschine tatsächlich hat. Ein Beispiel [vgl. 2]: Ein Datenpunkt (Data) wird erfasst, nur als Zahl. Erweitert man ihn um Metadaten, erhält man einen Wert, zum Beispiel eine Hydrauliktemperatur (Information). In Verbindung mit Fachwissen und Expertise ergibt sich die Einschätzung beziehungsweise das Wissen (Knowledge), dass die Temperatur sich im Regelbereich befindet. 65 Grad Celsius sind als Hydrauliktemperatur je nach Messpunkt im grünen Bereich, eine Umgebungstemperatur in dieser Höhe wäre eher unvorteilhaft. Eine schleichende Erhöhung dieser Hydrauliktemperatur über die Zeit, in gewissen Situationen oder Betriebszuständen kann auf ein sich aufbauendes Problem hinweisen. Durch die Symbiose von visuell strukturiert aufbereiteten Daten und das für Fachexperten Zugänglichmachen von in Rohdaten enthaltenen Fakten oder Trends wird es möglich, Zusammenhänge zu verstehen (Understanding). Auf Basis dieser Zusammenhänge kann eine Entscheidung für künftige Maßnahmen nachvollziehbar und datenunterstützt getroffen werden.

Betrachtet man die Abbildung 1, kann man die Terme Data, Information und Knowledge, also „Wissen“, als auf die Vergangenheit bezogen einordnen. All das ist Voraussetzung für eine fundierte, faktenbasierte Auswertung von Maschinendaten. Wisdom, „Weisheit“, könnte man als die Fähigkeit bezeichnen, vorausszusehen bzw. abzuschätzen, mit welcher Wahrscheinlichkeit der künftige Signalverlauf sein könnte. Am realistischsten wäre eher eine Bezeichnung als fundierte, wohlüberlegte Entscheidungsfindung [2]. Understanding,

„Verstehen“, liegt irgendwo in der Mitte zwischen Vergangenen und Künftigem.

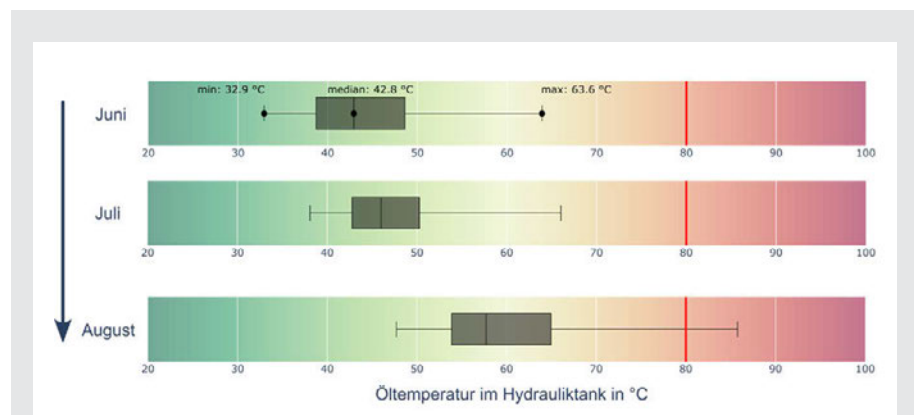
Um das Datenmuster, das von den Bahnbaumaschinen erfasst wird, in diesem Kontext „verstehen“ zu können, ist gezielte Einbindung von Fachexpertise notwendig, damit Schlüsse aus den Auswertungen gezogen werden können. Allerdings ist der Experte eines Fachgebiets nicht automatisch ein versierter Data Scientist. Umso wichtiger ist es, Wege zu finden, wie man effizient und effektiv Fachexpertise aus dem Sondermaschinenbau in Datenauswertungen einbinden kann. Für einen Maschinenhersteller ist das noch einfacher möglich, da die Experten der verschiedenen Disziplinen – und somit ihr Wissen – verfügbar sind. Werden Data Scientists mit einschlägigem, maschinenbautechnischem oder ähnlichem Background eingebunden, kann ein Schulterschluss zwischen Fachexpertise und Datenauswertung gelingen. Ein willkommener Nebeneffekt ist auch, dass es datenbasiertes Feedback in Richtung Engineering und Entwicklung geben kann. Was hilft das aber Maschinenbetreibern? Sie wissen oft sehr gut um ihre Maschinen Bescheid, allerdings wer unter-

hält dafür eigene Analyseteams? Vermutlich wenige.

Wenn Maschinenhersteller, also die OEM (Original Equipment Manufacturer), ihr Wissen über ihre Kapazität für Auswertung und Visualisierung den Maschinenbetreibern zur Verfügung stellen, kann voneinander gelernt werden. Solche Analytics-as-a-Service-Angebote können Maschinenbetreiber in Betrieb und Wartung gezielt unterstützen, indem Datenanalysekapazität hinzugezogen wird, wo man sie tatsächlich benötigt.

3. Analytics-as-a-Service

Die Analysemöglichkeiten des OEM können hier maßgeblich unterstützen, um einen optimierten Zeitpunkt zu errechnen, wann ein Eingriff sinnvollerweise durchgeführt werden soll. In Abbildung 2 ist ein einfaches Beispiel angeführt, in der Tabelle befinden sich Beispiele für kategorisierte Betriebsdaten [5]. Für jede ID in dieser Liste ist eine Kenngröße angeführt, die unter Beobachtung steht. Jede wird vorab gesetzten Limits für die nächste Inspektion, den nächsten Austausch oder die nächste Service-Über-



3: Monatliche Box-Plots zur Charakterisierung der Werteverteilung der Hydrauliktank-Temperatur [5]



prüfung gegenübergestellt. Abhängig vom im Betrachtungszeitraum tatsächlichen Betriebsprofil kann so das nächste Fälligkeitsdatum geschätzt werden. Dieser rollierende Forecast kann dabei helfen, die Wartungseinsätze besser zu planen und somit auch effizienter zu gestalten.

Auch wenn der OEM über solche Analysekapazitäten verfügt, helfen diese Informationen vorrangig dem Maschinenbetreiber. Umso wichtiger ist es, diese Methodiken und Services den Betreibern zur Verfügung zu stellen. Für generalisierbare und etwaige allgemeinere Auswertungen ist das auch skalierbar gut möglich, was passiert aber mit den spezifischen Anfragen von einzelnen Kunden? Erschlägt man alles mit einem Widget auf einer Webplattform allein? Nicht immer ist das der Fall. Oft sind Lösungen für komplexere Fragestellungen besser in einem maßgeschneiderten Report untergebracht. Damit ist es möglich, sehr genau auf die Fragestellungen einzugehen. Die frühen Pilotprojekte führten zur Entwicklung eines Prozesses, der grundsätzlich immer gleich ist. Zu Beginn steht die Anfrage, die Fragestellung – der Kunde hat ein Problem oder benötigt Informationen. Hier gibt es unterschiedli-

che Zugänge: Manche wissen sehr genau, was sie brauchen. Andere haben zwar ein Problem, können es aber schwer greifen und gar nicht oder nur wenig definieren. In beiden Fällen müssen die Anforderungen mit dem Kunden erarbeitet und auch genauer hinterfragt werden. Oft steckt hinter einem kleinen Problem ein größerer „Pain Point“, der – wenn er nicht gleich mitgelöst werden kann – zumindest bekannt sein muss, um die Auswertung effektiv gestalten zu können. Ein Report-Katalog hilft dabei, eine Übersicht von möglichen Lösungsansätzen zu erhalten, und regt auch die Brainstorming-Phase an.

Bereits kurz nach der Definition des Umfangs erhält der Maschinenbetreiber einen Prototyp des Reports – in der Regel bereits von einer kundeneigenen Maschine, auf der Plasser Datamatic aufgebaut und aktiviert ist. Dieser Beispielreport bildet die Basis für das Feintuning zwischen dem Maschinenbetreiber und den Data Scientists des OEM. Ab hier wird iterativ so lange angepasst, bis der Maschinenbetreiber mit dem Ergebnis zufrieden ist. Sobald der Report in der jeweiligen Form vom Maschinenbetreiber bestätigt wird, übersetzt Plasser & Theurer als der OEM diese Anforderungen

in ein Format, das vom Partnerunternehmen Track Machines Connected für die Implementierung des Reports genutzt wird. Nach Abschluss ist dieser auf der webbasierten Plattform verfügbar, mit allen Vorzügen aus Sicht der Sicherheit und Verfügbarkeit. Alles ist aus einem Guss und zentral für alle Berechtigten zugänglich. Bis dieser Schritt erfolgt ist, wird der Report parallel als finaler Prototyp vom OEM direkt dem Maschinenbetreiber zur Verfügung gestellt.

Dieses Vorgehen gewährleistet Durchgängigkeit für den Maschinenbetreiber und vermeidet längere Lieferzeiten, die sich bei der Implementierung von komplexeren Reports auf der Webplattform ergeben. Auch eine Skalierung wird möglich, wenn sich einzelne Reports für breitere Anwendung bei anderen Maschinenbetreibern oder Märkten generalisieren lassen. So werden auch seitens des OEM investierte Entwicklungskosten schneller gedeckt.

Beispiel 1: Große Flotte, wenige Daten

Ein großer Infrastrukturbetreiber in Asien unterhält eine ständig wachsende Flotte an Gleisbaumaschinen, die in für die Bahnbau-

branche ungewöhnlich großen Losgrößen vorhanden sind, beziehungsweise gebaut werden. Die Ausstattung der Maschinen ist besonders kostenoptimiert und somit limitiert, die Datenlage dadurch nicht sehr umfangreich. Die Kunst liegt in der aussagekräftigen Darstellung von Einsatzdaten, die den Verbrauch, die Produktivität und die Effizienz umfassen. Auch eine Kartendarstellung mit Details der Maschinenbewegung und der Arbeitseinsätze ist Teil dieser Reports.

Beispiel 2: Einzelmaschinensystem, viele Daten

Ein weiteres Beispiel einer Bahnbaufirma in Australien [6] behandelt die Kombination von drei individuellen Maschinen, die in einem Verbund unterwegs sind – die Rohdatenlage ist umfangreich. Vorrangig geht es um die vom Betriebszustand abhängige Aggregation von Daten sowie um die Identifikation von Komponenten, die weitere Aufmerksamkeit benötigen. Das ist besonders bei einem Verbund von Großmaschinen relevant – hier kann man bei einem eng getakteten Einsatzplan schon die Übersicht verlieren.

4. Health Checks

In der Analyse von Betriebsdaten geht es stets darum, aus einer großen Datenmenge Informationen zu extrahieren, auf deren Grundlage Entscheidungen getroffen werden können. Das war auch das Ziel bei der Definition des Report-Abschnitts „Health Checks“ für das zweite oben genannte Beispiel, wobei ausgewählte Parameter zur Bewertung des Zustands einzelner Komponenten und Systeme herangezogen werden sollen [6].

In Abstimmung zwischen dem Maschinenbetreiber und Plasser & Theurer wurden zunächst Soft-Limits je Parameter definiert. Der normale Betrieb sollte sich innerhalb dieser Grenzen bewegen, leichte oder seltene Überschreitungen führen jedoch nicht unmittelbar zu einem Schaden. Als maximale Vereinfachung könnte man basierend darauf feste Schwellen definieren, deren Über- oder Unterschreitung eine Benachrichtigung auslöst, was in der Plasser Datamatic-Webplattform „out-of-the-box“ möglich ist. Im vorliegenden Fall wollte man allerdings speziell auf folgende Begebenheiten eingehen:

- Sporadische Überschreitungen lösen ebenfalls Benachrichtigungen aus.

- Es ist unklar, ob dauerhaft am Limit operiert wird oder lediglich eine kurzzeitige Überschreitung vorliegt.
- Trends werden nicht frühzeitig erfasst.

Stattdessen werden bei diesem Anwendungsfall für jeden Parameter neben höchsten und niedrigsten auftretenden Werten auch der Durchschnittswert sowie der Bereich, in dem sich 50% der Datenpunkte befinden, als Box-Plot dargestellt. Dadurch wird auf kompakte Weise die Werteverteilung abgebildet (siehe Abbildung 3). In der Interpretation ist es von erheblicher Bedeutung, ob bereits ein großer Teil der Betriebszeit nahe am Limit verbracht wird oder lediglich einzelne Ausreißer heranreichen. Bei den meisten Parametern ist zuvor eine Einschränkung auf gewisse Betriebszustände notwendig. Beispielsweise macht es keinen Sinn, einen Schmieröldruck zu beobachten, wenn das betroffene System ausgeschaltet ist. Oftmals macht es darüber hinaus erst Sinn Werte zu betrachten, wenn eine normale Betriebstemperatur erreicht wurde.

Als nächsten Schritt kann man die Veränderung der Verteilung über Wochen und Monate beobachten und so statistisch relevante Trends erkennen – auch, bevor ein Limit erreicht wird (in Abbildung 3 monatsweise).

Eine weitere Möglichkeit, um den Systemzustand über die Zeit zu verfolgen, ist die Definition einer abgeleiteten Größe. Als Beispiel soll hier die normalisierte Marge der Hydrauliköltank-Temperatur herangezogen werden. Der Wertebereich wird dabei auf 0 bis 1 dargestellt. In Abbildung 4 ist der zeitliche Verlauf dieses Kennwerts für eine andere reale Maschine gegeben. Bei Annäherung an 0 ist mit vermehrten Überschreitungen des Limits zu rechnen und daher eine Intervention ratsam, beispielsweise eine Kühlerreinigung. Mit solch einer Vorgehensweise lassen sich gezielt Handlungen für die vorausschauende Instandhaltung ableiten.

5. Fazit

Für ein modernes und effizientes Instandhaltungsmanagement von Gleisbaumaschinen ist die automatisierte Nutzung von Betriebsdaten unerlässlich. Um tatsächlichen Mehrwert zu erhalten, muss jedoch der Schritt von Daten zu aussagekräftigen Informationen geschafft werden. Plasser & Theurer unterstützt seine Kunden dabei mit Analytics-as-a-Service. Derartige automatisierte Datenanalysen können auf

unterschiedlichen Ebenen Steigerungen von Effizienz und Sicherheit bringen. Das Spektrum reicht von einfachen Maßnahmen wie nutzungsbasierten Wartungsintervallen bis hin zu komplexen Methoden der „Predictive Maintenance“. Diese können KI-unterstützt sein, beruhen aber nicht nur auf KI. Die Herausforderung einer kosteneffizienten Instandhaltung besteht in diesem Zusammenhang darin, bei konkreten Komponenten oder Wartungstätigkeiten die relevanten Faktoren abzuwägen: Folgen eines Ausfalls, Aufwand von Tausch und Reparatur sowie Komplexität für die Zustandsüberwachung. Auch hier bietet Plasser & Theurer Unterstützung als Beratungsleistung an. •

Literatur

- [1] Hofmann, L.; Rothschedl C. J.; Mutzl, A.: Stufenweise zu nachhaltigem Mehrwert aus Maschinendaten. *EI - Der Eisenbahningenieur* 3/2024, S. 6-10.
- [2] Rothschedl, C. J.: Concepts, Methods, and Systems for Machine Data Analysis. Dissertation, Lehrstuhl für Automation und Messtechnik, Montanuniversität Leoben, 2020.
- [3] Embrechts, M.; Szymanski, B.; Sternickel, K.: Computationally Intelligent Hybrid Systems: The Fusion of Soft Computing and Hard Computing. John Wiley & Sons, New York, 2005.
- [4] Ackoff, R. L.: From data to wisdom. *Journal of Applied Systems Analysis*, 16, S. 3-9, 1989.
- [5] Global Railway Review's Track Insight: Unlocking the Future of Freight. Abgerufen am 21. November 2025. Verfügbar unter: <https://www.globalrailwayreview.com/article/231791/global-railway-reviews-track-insight-future-of-freight>.
- [6] Plasser & Theurer: Mit vereinten Kräften zu besseren Entscheidungen. Abgerufen am 3. November 2025. Verfügbar unter: <https://aktuell.plassertheurer.com/en/aktuell/143/08-mit-vereinten-kr%C3%A4ften-zu-besseren-entscheidungen>.

Summary

Predictive maintenance and the human factor – a combination that works

Expectations for predictive maintenance concepts are high. In special machine construction, such methods are often difficult to apply due to a lack of reference and trend values. Concrete analysis approaches pave the way for a comprehensive understanding of a machine as a basis for recommendations for action. Combining the manufacturer's development expertise with the operator's practical experience is particularly effective – an opportunity that benefits both sides.