

Bahnbaumaschinen: Neue Wege im Instandhaltungsmanagement

Wie Telemetriedaten die Wartungsplanung unterstützen.

**VALENTIN WALTENBERGER |
ALEXANDER MUTZL | LUKAS HOFMANN**

Die Sicherstellung eines reibungsfreien, nachhaltigen und wirtschaftlichen Betriebs einer Bahnbaumaschine verlangt großes Augenmerk auf die Instandhaltungsstrategie. Optimierungen im Instandhaltungsprogramm erfordern Wissen über den aktuellen Zustand und Einsatz des instandzuhaltenden Systems. Moderne Telemetriesysteme bieten durch Analyse aufgezeichneter Betriebsdaten großes Potenzial, essenzielle Informationen abzuleiten, um sowohl Überservicierung als auch Unterservicierung zu vermeiden. Gerade die Charakterisierung des tatsächlichen Lastprofils einer Baugruppe kann zukünftig dabei helfen, Instandhaltungsstrategien hinsichtlich des Einsatzprofils der Maschine zu optimieren.

Im Dschungel der Fachbegriffe – Instandhalten, Instandsetzen oder doch nur Warten?

Eine Vielzahl ähnlicher Fachbegriffe werden in Gesprächen rund um den Erhalt der Funktionsfähigkeit einer Baumaschine verwendet. Die

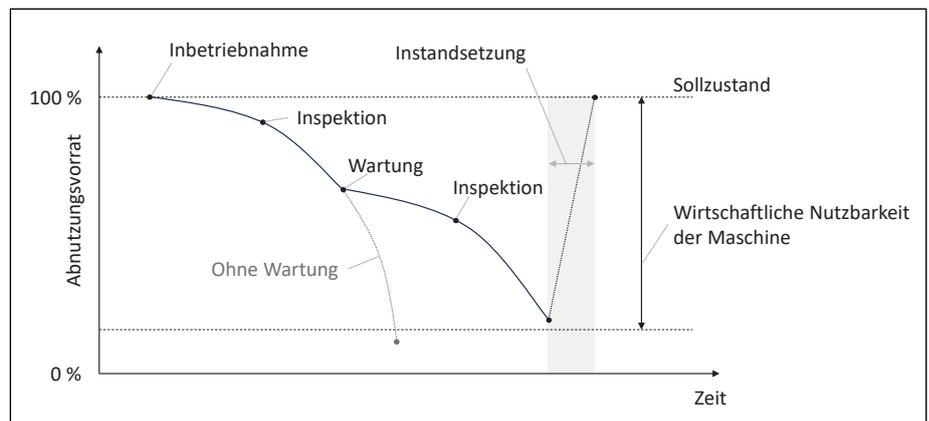


Abb. 1: Beeinflussung des Abnutzungsvorrats einer Anlage durch Instandhaltung

Quelle: abgeändert aus [1]

oftmals synonym gebrauchten Wörter haben jedoch eine klare Differenzierung ihrer Inhalte. Der Oberbegriff der Instandhaltung vereint alle technischen und administrativen Maßnahmen während des Lebenszyklus eines Objekts, die dem Erhalt oder der Wiederherstellung des funktionsfähigen Zustands dienen, sodass es die geforderte Funktion erfüllen kann. Instandhaltungstätigkeiten umfassen im Wesentlichen die Inspektion, die Wartung und die

Instandsetzung des Objekts und sind in Abb. 1 im Lebenszyklus einer Maschine dargestellt. Regelmäßig durchgeführte Inspektionen des Baufahrzeugs auf Konformität der maßgeblichen Merkmale tragen zur Betriebssicherheit und Früherkennung von Abnormalitäten bei und unterstützen die Wartungsplanung. Ergänzt werden diese durch die Durchführung von Wartungen zur Verzögerung des Abbaus des vorhandenen Abnutzungsvorrats. Inner-

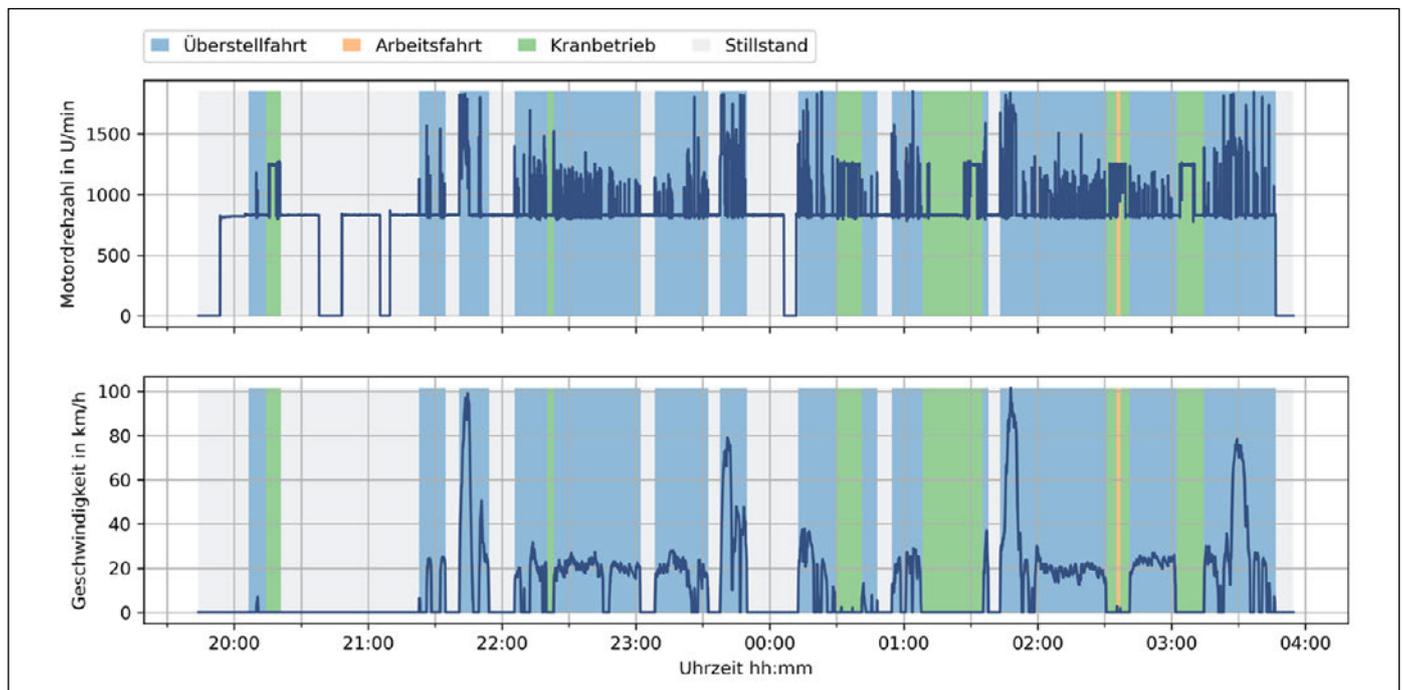


Abb. 2: Motorlaufzeit einer Gleisbaumaschine mit Kennzeichnung der Betriebsarten über eine Schicht

| | Strategie 1 | Strategie 2 |
|----------------------|---|---|
| Variable für Planung | Zu erwartende Betriebsstunden anhand des Einsatzplans (+ Sicherheitsreserve) | Zeitintervall unabhängig von Betriebsstunden |
| Risiko | Konservativ, da tatsächliche Betriebsstunden einzelner Komponenten meist geringer | Überschreitung der max. zulässigen Betriebsstunden |
| Folge | Über-Serviceierung führt zu Mehrkosten | Überschreitung von Verschleißgrenzen birgt Gefahr des spontanen Ausfalls der Maschine |

Tab. 1: Vergleiche zweier Herangehensweisen zur Instandhaltungsplanung ohne Telemetriedaten

halb des Abnutzungsvorrats kann eine technische Anlage wirtschaftlich betrieben werden und steht dabei unter dem Einfluss chemischer und physikalischer Prozesse (z.B. Verschleiß). Sollte im Zuge von Inspektionen und Wartungen ein Defekt festgestellt werden, wird er mittels einer Instandsetzungsmaßnahme zur Wiederherstellung des Sollzustands der Maschine behoben. Inspektion, Wartung und Instandsetzung lassen sich, wie in DIN 31051 [2] und EN 13306 [3] beschrieben, unter dem Begriff der Instandhaltung einer Anlage zusammenfassen und bilden die Grundlage des reibungs-freien, nachhaltigen und wirtschaftlichen Betriebs einer Anlage.¹ Im Nachfolgenden befasst sich der Beitrag näher mit verschiedenen Ansätzen der Wartungsplanung.

Wann habe ich zu handeln?

Habe ich rechtzeitig gewartet? War es doch zu früh? – Gerade diese Fragen beschäftigen Instandhaltungsverantwortliche in der Planung. In der Vermeidung von Über-Serviceierung steckt erhebliches Kosteneinsparungspotenzial, sie bedarf jedoch einer Risikoabschätzung

¹ Die Normen nennen zusätzlich auch den Aspekt der „Verbesserung“ („alle Aktivitäten zur Steigerung der Zuverlässigkeit und der Schwachstellenbeseitigung, ohne das Objekt in seiner ursprünglichen Funktion zu ändern“ [7]), darauf soll hier jedoch nicht näher eingegangen werden.

und genauer Informationen über den aktuellen Zustand der Maschine. Als Grundlage der Planung können verschiedene Parameter herangezogen werden. Herstellerseitig werden Instandhaltungsintervalle von Maschinen und deren Subkomponenten häufig mittels Zeitintervallen und Betriebsstunden der Maschine angegeben. Aufgrund einfacherer Administrierbarkeit findet die Planung mittels fix vorgegebener Zeitintervalle in vielen Bereichen Anwendung. Diese kann ohne Wissen über die tatsächliche Dauer des Maschineneinsatzes (Betriebsstunden) durchgeführt werden. Gerade das manuelle Auslesen und Übermitteln des aktuellen Betriebsstundenzählerstands stellen sowohl einen erheblichen Mehraufwand als auch eine logistische Herausforderung dar. Deshalb erfolgt aufgrund fehlender Informationen oder Verzögerungen in der Rückmeldung in der Regel eine Wartungsplanung losgelöst vom eigentlichen Maschineneinsatz. Selbst ein Heranziehen des Schichtplans, um fehlende Informationen der Einsatzzeit zu ergänzen, führt oftmals nicht zum gewünschten Ergebnis, da keine Verallgemeinerbarkeit im Zusammenhang von Schichtlänge und effektiver Einsatzzeit der Maschine gegeben sein muss.

Abb. 2 zeigt die Auswertung einer Arbeitsschicht einer Gleisbaumaschine. Dabei ist zu erkennen, dass die Motorlaufzeit von der Schichtlänge abweicht. Abhängig vom Modus

der Maschine variiert der Einsatz des Motors. In der dargestellten Schicht war der Motor der Maschine 37 Minuten ausgeschaltet bei einer Schichtlänge von 8:11 Stunden. Zieht man solche Beobachtungen nicht in der Instandhaltungsplanung in Betracht, führt ein Fehler von 7,6 % wie im Beispiel bei 120 derartigen Schichten jährlich bereits zu einer Abweichung von 75 Betriebsstunden zwischen dem erwarteten und dem tatsächlichen Wert in einem Jahr. Ohne das Wissen über die tatsächliche Einsatzzeit einer Anlage ergeben sich zwei Herangehensweisen der Wartungsplanung (Tab. 1).

Neues Potenzial durch Datenaufzeichnung

Die zunehmende Digitalisierung von Baumaschinen bietet Möglichkeiten, einen tieferen Einblick in die Verwendung der Subkomponenten der Maschine zu bekommen. In Zusammenarbeit mit Track Machines Connected (tmc) stellt Plasser & Theuer eine Digitalisierungslösung für Baumaschinen bereit, wodurch der Einsatz der Maschine detailliert nachverfolgt und bewertet werden kann. Die Aufzeichnung von Betriebsparametern und die Möglichkeit der Errechnung abgeleiteter Größen einzelner Subsysteme der Baumaschine schaffen eine neue Grundlage für datenbasierte Entscheidungen rund um das

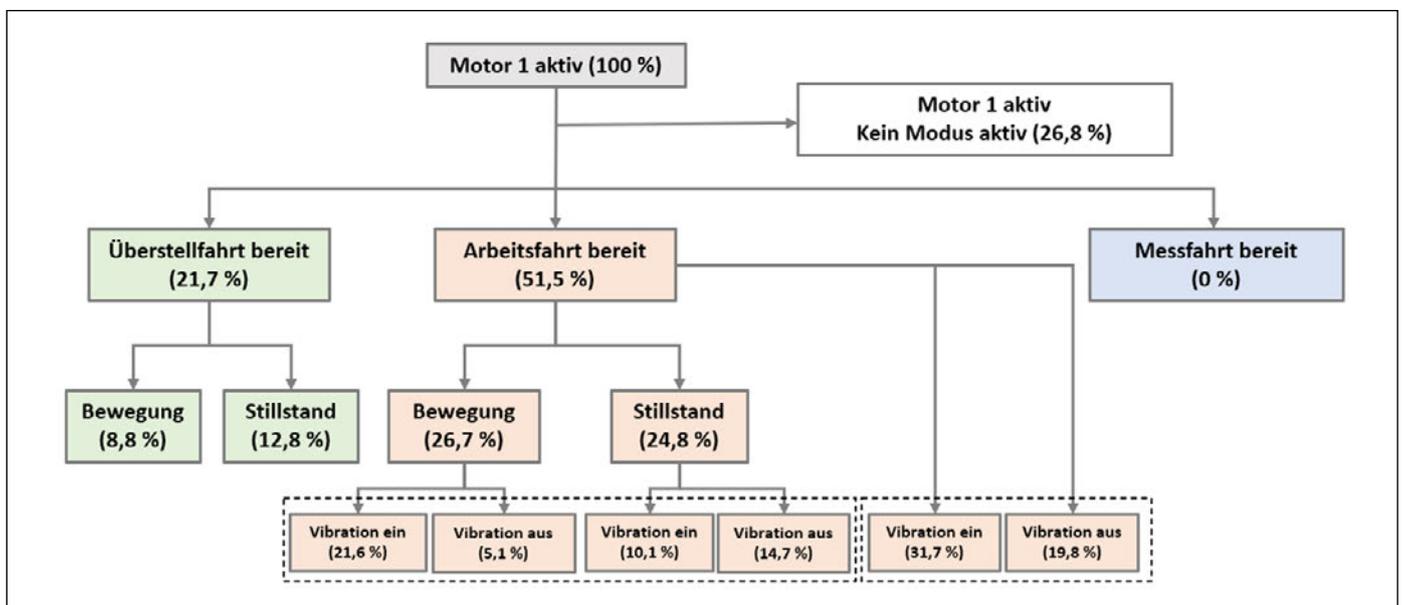


Abb. 3: Aus Betriebsdaten bestimmtes zeitliches Einsatzprofil einer Stopfmaschine bezogen auf die Motorbetriebszeit

Wartungsmanagement. In ihrem Artikel „Stufenweise zu nachhaltigem Mehrwert aus Maschinendaten“ haben Hofmann et al. [4] in der Ausgabe 03/2024 des EI – DER EISENBAHNINGENIEUR bereits erläutert, welche Möglichkeiten im Hinblick auf die Vorhersage und Überwachung von Zuständen bestehen und die Wichtigkeit historischer Daten beleuchtet. Digitalisierungslösungen haben hier den Vorteil, dass sie durch die Echtzeitbereitstellung von Maschinendaten Entscheidungsträgern im Wartungsmanagement Zugriff auf relevante Betriebsdaten und Zählerstände der Maschine geben. Als illustratives Beispiel ist in Abb. 3 das Einsatzprofil einer Stopfmaschine dargestellt.

Ein Mix der Strategien: Optimierung des Instandhaltungsprogramms

Hohe Maschinenverfügbarkeit und Vermeidung von Maschinenausfällen setzen ein gut strukturiertes Instandhaltungsmanagement voraus. Ressourcenschonung und Wirtschaftlichkeit sind wichtige Ziele, die durch Optimierungen im Instandhaltungsprogramm die Dauer des Stillstands der Maschine minimieren und eine kosteneffiziente Behebung des Mangels ermöglichen. Die beste Strategie lässt sich pauschal nicht festlegen, da es durch

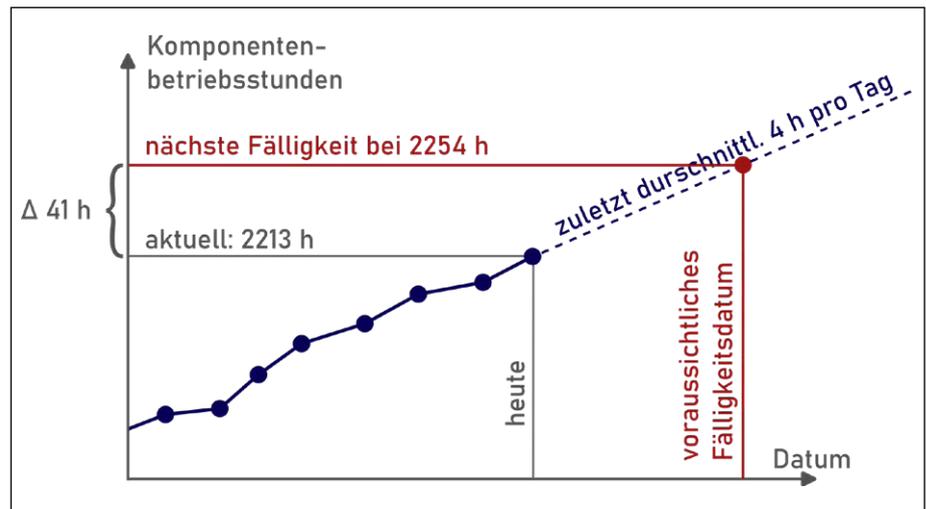


Abb. 4: Trendlinie der Komponentenbetriebsstunden zur Wartungsplanung

verschiedenartige Gegebenheiten (z. B. Klima, Art und Zustand des Ober- und Unterbaus) in den Einsatzgebieten der Maschinen Unterschiede gibt. Klimatische Verhältnisse und das Marktumfeld führen in vielen Regionen dazu, dass Baumaschinen nicht ganzjährig eingesetzt werden können. Dadurch ergeben sich

zwangsweise Fenster, die für Instandhaltungs- und Erneuerungsarbeiten genutzt werden können. Dies untermauert die Notwendigkeit, Wartungsstrategien flexibel an die Gegebenheiten des Einsatzprofils anzupassen. Die Entscheidung, Anpassungen im Instandhaltungsplan durchzuführen, obliegt der für

| ID | Kategorie | Einheit | verbleibend | voraussichtliche Fälligkeit |
|----|------------|----------------------------|-------------|-----------------------------|
| 3 | Inspektion | Komponentenbetriebsstunden | 41 | 30.8.2024 |
| 5 | Inspektion | Komponentenbetriebsstunden | 20 | 3.9.2024 |
| 12 | Tausch | Stopfungen | 112350 | 30.9.2024 |
| 8 | Tausch | Tage | 93 | 20.11.2024 |
| 2 | Service | Kilometer | 57000 | 7.12.2024 |

Tab. 2: Fälligkeitstabelle durch Trendlinienbestimmung

die Instandhaltung zuständigen Stelle. Die Basis bildet zunächst die Empfehlung des Herstellers. Um keine Ansprüche zu verlieren, sind Anpassungen des Plans erst nach Ablauf der Gewährleistung üblich. Es lohnt sich jedoch, bereits während dieses Zeitraums Daten und Erfahrungen zu sammeln, um die nötige Grundlage für zukünftige Anpassungen zu schaffen.

Im europäischen Eisenbahnsystem wird die Instandhaltungsverantwortung über die „Entity in Charge of Maintenance“ (ECM) mittels Rollenverteilung übergreifend geregelt [5]. Die Gesamtverantwortung des Instandhaltungsmanagements einer Anlage trägt der ECM 1. Die Instandhaltungsentwicklung ist Aufgabe des ECM 2, der damit betraut ist, die Instandhaltungsvorgaben festzulegen sowie weiterzuentwickeln. Umsetzung und Einplanung der Maschine zum festgesetzten Instandhaltungsprogramm ist Aufgabe des ECM 3, dessen Tätigkeit als Fuhrparkmanagement bezeichnet wird. Die ordnungsgemäße Durchführung von Instandhaltungsarbeiten wird durch eine zertifizierte Werkstatt sichergestellt, den ECM 4. Die klare Aufteilung der Rollen und Verantwortungen sowie die Zertifizierung der einzelnen Stellen dienen der Sicherheit im Bahnverkehr [6]. Sowohl die Optimierung des Instandhaltungs-

plans als auch die rechtzeitige Einplanung der Maschine für Wartungstätigkeiten kann durch Digitalisierungsmaßnahmen maßgeblich unterstützt werden.

Die Grundlage jedes Wartungsprogramms stellt die zeitbasierte Grenzwertfestlegung dar. Wartungsintervalle werden so definiert, dass fortschreitender Verschleiß einer Komponente innerhalb des festgelegten Zeitraums kein kritisches Ausmaß annehmen kann. Die Zeiträume werden meist basierend auf empirischem Wissen und Verschleißmodellen durch den Hersteller festgelegt und dienen als Planungsgrundlage für den ECM 3.

Da die Einsatzdauer einer Komponente unterschiedlichen Einflüssen der Verwendung unterliegt und nicht verallgemeinert werden kann, wird für viele Komponenten zusätzlich zum Zeitintervall eine Anzahl an Betriebsstunden angegeben, die innerhalb der zeitlichen Grenzen des Wartungsintervalls nicht überschritten werden dürfen (z.B. halbjährlich oder 500 Betriebsstunden). Ausschlaggebend ist in diesen Fällen das jeweils früher eintretende Ereignis. Vorhersage und Planung des Zeitpunkts des Erreichens der maximal zulässigen Betriebsstunden stellen den ECM 3 vor eine schwierige Aufgabe. In vielen Fällen besitzen Baumaschinen nur einen analogen Betriebsstundenzähler am

Fahr- und Bedienstand, häufig sogar nur für den Motor. Oftmals ist der ECM 3 auf die Auskunft des Bedieners über den aktuellen Zählerstand angewiesen. Moderne Telemetriesysteme wie die Plasser Datamatic können sowohl den ECM 2 als auch den ECM 3 durch verlässliche Bereitstellung verschiedenster Maschinenparameter in Echtzeit über den aktuellen Maschinenzustand informieren.

Die Analyse von getauschten Verschleißteilen in Kombination mit der Information der Einsatzzeit und Umgebung aus den Maschinendaten kann dem ECM 2 als Grundlage für Anpassungen der Instandhaltungsintervalle dienen. Dem ECM 3 gibt die Aufbereitung historischer Betriebsdaten der nahen Vergangenheit durch Bildung von Trendlinien der gängigen Maschinenverwendung prognostische Auskünfte über den nächstfälligen Wartungszeitpunkt. Abb. 4 zeigt die Trendlinie der Betriebsstunden einer Komponente und deren Schnittpunkt mit der durch das Instandhaltungsprogramm festgelegten maximalen Betriebsstundenzahl bei gleichbleibender Betriebsauslastung.

Die Erstellung von Trendliniengraphen kann manuell oder durch Datenausleitung und Weiterverarbeitung in Drittprogrammen mittels API-Schnittstelle (API: Application Programming Interface) erfolgen.

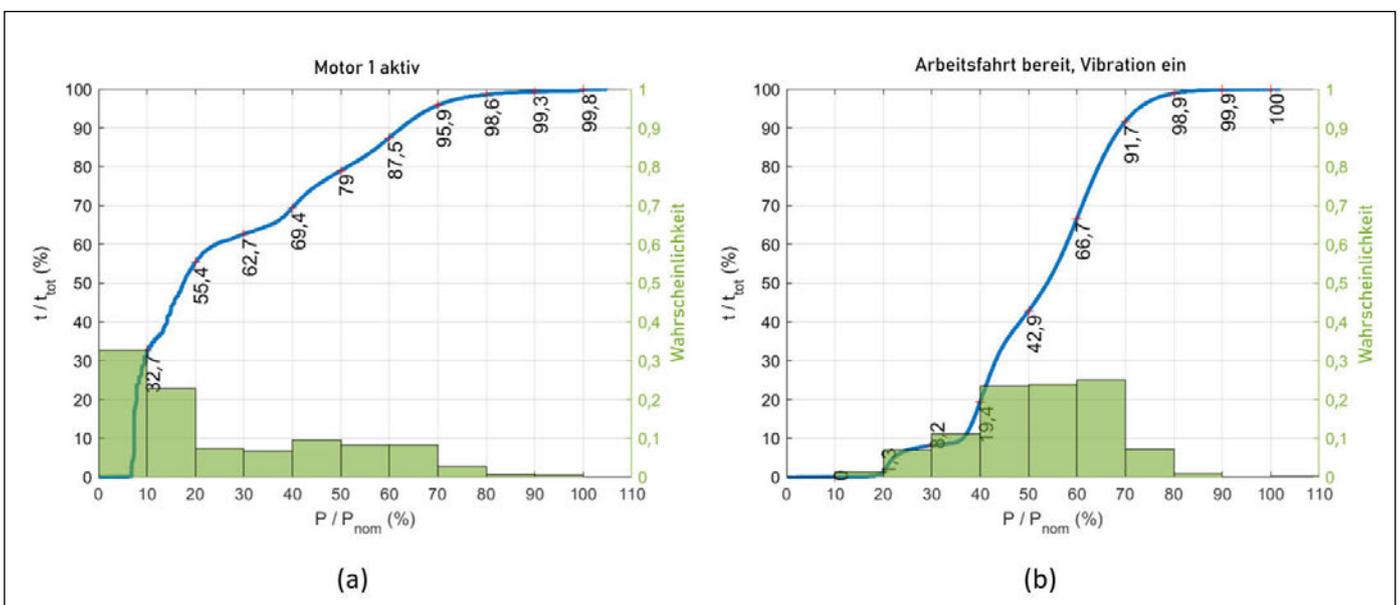


Abb. 5: Histogramme des relativen Leistungsbedarfes für die gesamte Motorlaufzeit (a) und einen ausgewählten Betriebszustand einer Stopfmaschine (b). (t/t_{tot} = Betriebszeit / gesamte Betriebszeit, P/P_{nom} = Motorleistung / Nennleistung des Motors)

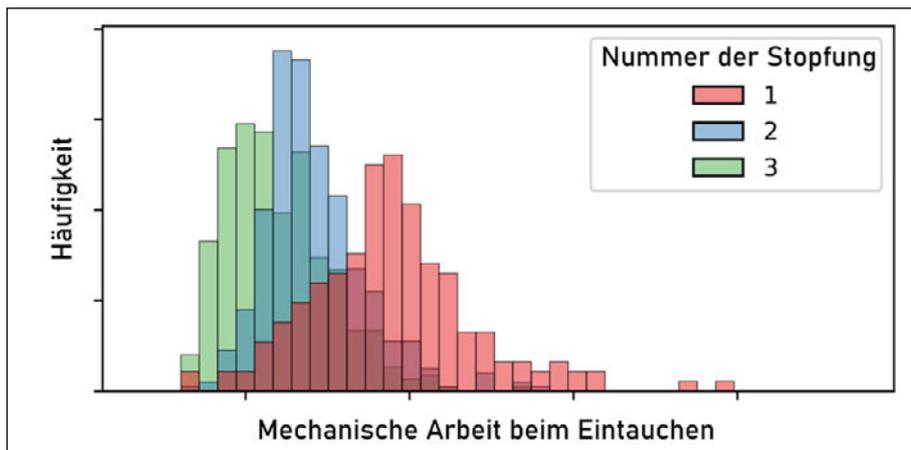


Abb. 6: Vergleich der mechanischen Arbeit während des Eintauchens bei mehreren Stopfungen an derselben Stelle

Tab. 2 zeigt die prognostizierten Zeitpunkte durch Trendlinienbildung mehrerer Instandhaltungsaufgaben. Durch individuelle Kombination verschiedener Wartungstätigkeiten unterschiedlicher Fälligkeiten zu einem Wartungsaufenthalt der Maschine können präventive Maßnahmen langfristig den Maschinenstillstand reduzieren und die verfügbare Einsatzzeit erhöhen. Tab. 2 offenbart, dass die prognostizierten Fälligkeiten zweier Tätigkeiten nahe beisammen liegen. Es empfiehlt sich eine Zusammenlegung der Arbeiten von ID 3 und ID 5 zur Optimierung sowohl des Maschinenstillstands als auch logistischer Aufwände.

Zusammenfassung und Ausblick

Die rechtzeitige sowie vorausschauende Einplanung von Maschinen zu Wartungszwecken bringt große Verantwortung mit sich. Ziel der

Optimierung der Instandhaltungsplanung ist es, die Sicherheit des Betriebs bei hoher Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit möglichst kostenfreundlich und ressourceneffizient zu erhalten. Durch das Zusammenlegen geplanter Wartungstätigkeiten in einen Arbeitsauftrag können sowohl der Maschinenstillstand als auch die mit der Wartung einhergehende logistische Nichtverfügbarkeit der Maschine reduziert werden.

Telemetriesysteme, die dem Instandhaltungsverantwortlichen uneingeschränkten Einblick in die Betriebsdaten der Maschine und deren Subkomponenten geben, bieten die Möglichkeit, durch retrospektive Analyse der Daten aus der nahen Vergangenheit den tatsächlichen Maschineneinsatz in eine prognostische Planung miteinzubeziehen. Die sich daraus ergebenden voraussichtlichen

Wartungszeitpunkte erlauben es, die Instandhaltungszeitfenster der Maschine möglichst ressourcenschonend und vorausschauend einzuplanen.

Laufend und automatisch erfasste Maschinendaten dienen als Grundlage für Instandhaltungsentscheidungen und bieten darüber hinaus großes Potenzial, zukünftig Instandhaltungsstrategien hinsichtlich der Härte des Einsatzes der Maschine und der variierenden Belastungen der Komponenten zu gewichten und weiterzuentwickeln.

Datenanalysten von Plasser&Theurer befassen sich deshalb unter anderem mit der Charakterisierung von Betriebszuständen, Leistungsbewertungen und Lastprofilen von Motoren im Betrieb (Abb. 5) und dem Schweregrad des Stopfeingriffs (Abb. 6) – ganz nach dem Motto: Betriebsstunde ist nicht gleich Betriebsstunde. ■

QUELLEN

- [1] Warnecke, H. J.: Instandhaltung Grundlagen, Verlag TÜV Rheinland, 1981
- [2] DIN 31051:2019-06, Grundlagen der Instandhaltung, Beuth Verlag GmbH, 2019
- [3] EN 13306, Instandhaltung – Begriffe der Instandhaltung, Austrian Standards International, 2018
- [4] Hofmann, L.; Rothschedl, C.; Mutzl, A.: „Stufenweise zu nachhaltigem Mehrwert aus Maschinendaten“, DER EISENBAHNINGENIEUR 3/2024, pp. 6-10
- [5] Amtsblatt der Europäischen Union, „Durchführungsverordnung (EU) 2019/779 der Kommission“, 16. Mai 2019
- [6] DIN EN 17023:2019-07, Bahnanwendungen – Instandhaltung von Eisenbahnfahrzeugen – Erstellung und Änderung von Instandhaltungsplänen, 2019
- [7] <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Instandhaltung&oldid=243895126> (Abgerufen: 29. April 2024, 15:58 UTC)

i

Machine Maintenance Modul

Im Zuge stetiger Produktverbesserungen und Weiterentwicklungen bietet Plasser & Theurer seit Januar 2024 eine neue Funktion zur Unterstützung von Inspektionen und Wartungen an. Das Machine Maintenance Modul wurde als Erweiterung zur Plasser Datamatic entwickelt und in die Benutzeroberfläche der Flottenmanagementanwendung integriert. Ganz nach dem Motto „Instandhaltungsplanung jetzt digital“ soll das Machine Maintenance Modul bei unterschiedlichen Aufgaben des Instandhaltungsmanagements zur Seite stehen, unter anderem bei der Durchführung und Dokumentation von Instandhaltungsmaßnahmen. Eine Kernfunktion ist die Möglichkeit, alle wichtigen Schritte der Maschineninstandhaltung digital abzubilden und mit Maschinendaten der Plasser Datamatic zu verschneiden. So können z. B. die Betriebsstunden einzelner Komponenten als Auslöser für eine Erinnerung mit entsprechender Vorwarnzeit hinterlegt werden. Steht eine Wartung zeitnah an, wird der Benutzer in der Flottenmanagementanwendung sowie per E-Mail benachrichtigt. So kann die Anlage rechtzeitig für Wartungsmaßnahmen eingeplant und durchgeführte Maßnahmen können mit vergleichsweise geringem Aufwand nachvollziehbar dokumentiert werden. Wartungsunabhängig entdeckte Auffälligkeiten an der Maschine können ebenfalls digital erfasst und als Informationsquelle für Instandsetzungsplanung herangezogen werden. Dadurch entsteht ein „Digitales Serviceheft“ der Anlage zur Dokumentation und zum Nachweis durchgeführter Instandhaltungsmaßnahmen.



Dipl.-Ing. Valentin Waltenberger

Requirements Engineering
and Sales Support
Life Cycle and Digital Services
Plasser & Theurer, AT-Wien
valentin.waltenberger
@plassertheurer.com



Dipl.-Ing. (FH) Alexander Mutzl

Team Lead Digital Services and Contracts
Life Cycle and Digital Services
Plasser & Theurer, AT-Wien
alexander.mutzl@plassertheurer.com



Dipl.-Ing. Lukas Hofmann

Team Lead Data Science and Analytics
Life Cycle and Digital Services
Plasser & Theurer, AT-Linz
lukas.hofmann@plassertheurer.com