Neues Softwarewerkzeug zur Überwachung „nicht intelligenter“ Anlagenteile bzw. Teilanlagen

Dr. **T. Ross**, **C. Hedler**, Bayer Technology Services, Leverkusen;
Christian W. Frey, Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung, Karlsruhe

Kurzfassung

Innovative Plant Asset Management (PAM) Lösungen gewinnen vor dem Hintergrund des zunehmenden globalen Wettbewerbs und dem steigenden Druck zur Reduzierung der Herstellungskosten immer mehr an Bedeutung. Dabei kommt der Überwachung und Diagnose von Apparaten, Geräten und Automatisierungstechnik eine Schlüsselrolle zu. Um über die Ebene der intelligenten Feldgeräte hinaus, aussagekräftige Asset-Statusinformationen auch von „nicht intelligenten“ Anlagenteilen und Teilanlagen verfahrenstechnischer Betriebe erhalten zu können, wurde in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IOSB ein Software-Werkzeug entwickelt, welches ohne erhebliche Engineering- und Modellierungsaufwände sowie auf Basis der bestehenden Feldinstrumentierung zum Einsatz kommen kann. Im Folgenden wird näher auf Anwendungsbereiche, Handhabung und Praxisbeispiele im Zusammenhang mit dem Werkzeug eingegangen.

1. Einleitung

Eine zentrale Zielsetzung modernen PAMs liegt in der Steigerung der Anlagenverfügbarkeit und der Anlagennutzung durch Zustandsüberwachung von Feldgeräten und Anlagenkomponenten (Asset Monitoring) [1]. Um hier frühzeitig Hinweise über schleichende Verschlechterungsprozesse zu gewinnen, kommt der echtzeitfähigen Bewertung der Asset Gesundheit eine Schlüsselrolle zu. Denn erst auf der Basis derartiger, gesicherter Erkenntnisse ist eine Prognose und schließlich eine Ableitung geeigneter Maßnahmen möglich, etwa im Sinne der vorausschauenden Wartung, aber auch der Produktions- bzw. Stillstandsplanung. Zuverlässige Asset-Statusinformationen bilden daher die Grundlage für vielfältige und unterschiedliche, für den Geschäftserfolg wesentliche Unternehmensentscheidungen.

2. Motivation und Einordnung in die Systemlandschaft

Auf der Geräteebene existieren in vielen Fällen bereits Asset-Statusinformationen. Beispielsweise haben sich die sog. intelligenten Feldgeräte in vielen Betrieben schon weitgehend etabliert. Häufig haben die Anwender allerdings keine Möglichkeit, die Informationen in

vollem Umfang zu nutzen. Um auf die entscheidenden Aspekte zu fokussieren, müssen die Daten sinnvoll in einen Verdichtungsprozess eingebracht werden. Nur so lässt sich das anlagennahe Asset Management nachhaltig verbessern.

Ebenso werden auf der Ebene der komplexeren Maschinen und Apparate, wie etwa Pumpen oder Wärmetauschern Condition Monitoring Systeme bereits angeboten und sind verfügbar [2]. Aber auch hier ist die aufgabengerechte Verdichtung der Statusinformationen für den Anwender zwingend erforderlich.

Anders sieht die Situation bei der Überwachung und Diagnose bereits einfacher Apparatecluster, insbesondere aber ganzer Teilanlagen aus. Zwar stehen hier zur Prozessführung bereits standardmäßig eine Vielzahl von Informationen, wie Mess- und Stellgrößen, zur Verfügung. Eine automatisierte Verdichtung sowie deren Abgleich mit dem aktuellen Betriebszustand fand aber bislang nicht statt. Um diese Lücke zu schließen, hat BTS vor etwa vier Jahren in Kooperation mit dem Fraunhofer-IOSB ein Entwicklungsprojekt namens PU-Mon® (Process Unit Monitoring) initiiert [3]. Erklärtes Ziel war es, ein System zur Überwachung von prozesstechnisch zusammenhängenden Anlagenteilen (Process Units) zu entwickeln, welches sich ohne erhebliche Engineering- und Modellierungsaufwände auf Basis der bestehenden Feldinstrumentierung für die Asset Überwachung von Betrieben mit – damals vorerst – kontinuierlicher Fahrweise nutzen lässt. Seitdem hat sich viel getan und als das Überwachungswerkzeug im letzten Jahr erfolgreich fertiggestellt werden konnte, wurden bis heute eine Reihe wichtiger Belastungstests mit Aufgabenstellungen unterschiedlicher Komplexität durchgeführt. Im Ergebnis steht dem Anwender heute ein zuverlässiges sowie einfach und schnell zu bedienendes Überwachungswerkzeug zur Verfügung, welches die Asset-Statusinformationen pro Process Unit verdichtet und aggregiert in Form einer Ampel darstellt. Anwendungsschwerpunkte sind alle nicht standardmäßig mit einer Eigendiagnose ausgerüstete Anlagenkomponenten, wie etwa Kesseln und Rohrleitungen, Wärmetauschern oder Destillationskolonnen [4]. Zudem hat sich gezeigt, dass der Process Unit Monitor auch gewinnbringend zur Überwachung von störungsanfälligen Assetkombinationen eingesetzt werden kann, für die prinzipiell auch bereits Einzelüberwachungslösungen auf dem Markt existieren. Zum einen um bestimmte Typen von Anlagenproblemen abzudecken, die bisher nicht erfasst wurden oder auch zum anderen, um kausale Wirkzusammenhänge in den Verschlechterungsprozessen aufzudecken, beispielsweise wenn sich Anlagenprobleme innerhalb einer Teilanlage von Asset zu Asset fortpflanzen. In Abschnitt 3 wird dazu ein konkretes Beispiel etwas näher ausgeführt.

Auf der anderen Seite verdeutlicht Bild 1, dass Process Unit Monitoring richtig verstanden bereits einige Elemente klassischer Prozessführung (Performance Monitoring) ent-

hält [5]. Allerdings nicht im Sinne einer Prozessführung nach Key Performance Indikatoren, um einen optimaleren Fahrzustand zu finden, sondern eher im Sinne einer gezielten Überwachung von Teilprozessen, um so Informationen über die Asset Performance abzuleiten.

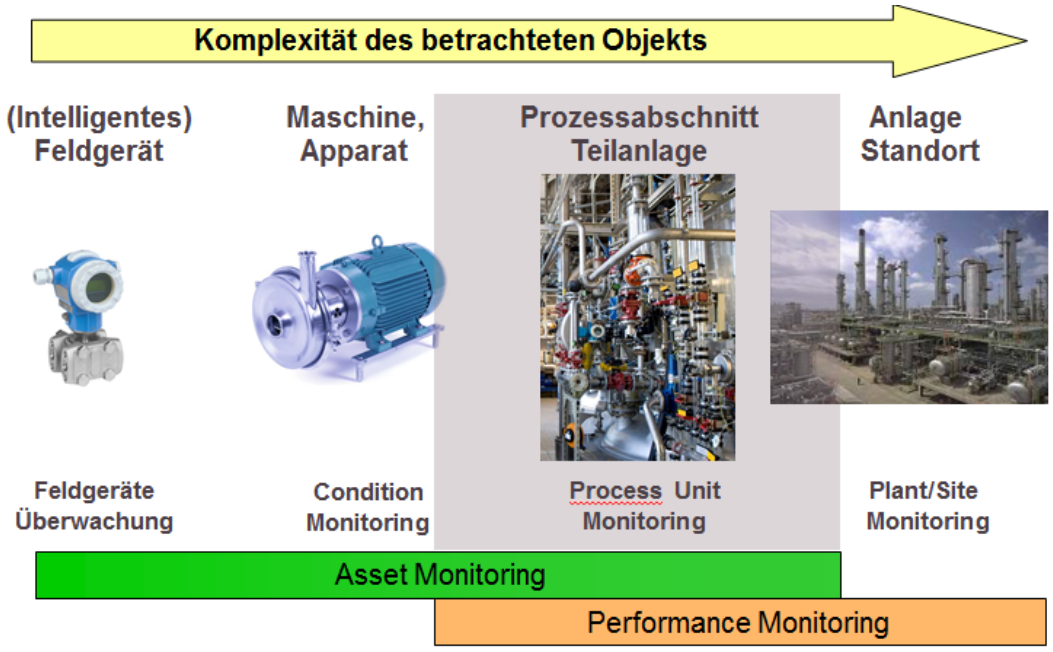


Bild 1: Process Unit Monitoring kombiniert Condition und Performance Monitoring

3. Konzeption und Vorgehen bei der Anwendung

Der mathematische Kernalgorithmus für das Überwachen von Anlagenteilen wurde zuvor bereits erfolgreich im Rahmen eines Diagnosekonzepts für feldbusbasierte Automatisierungsanlagen eingesetzt [6]. Der Grundintention des Softwaretools folgend, werden die Prozessparameter einer Process Unit nicht für sich allein, isoliert, betrachtet. Vielmehr korreliert das System alle Parametersätze miteinander und erfasst auf diese Weise das charakteristische Zusammenspiel der einzelnen Komponenten der zu überwachenden funktionalen Einheit. Es erlernt und überprüft dabei deren Abhängigkeiten und leitet daraus summarische Statusaussagen ab, etwa im Sinne eines Ampelschemas, bei dem zwischen Gutzustand („grün“), sich abzeichnendem Handlungsbedarf („gelb“) und Fehlfunktion („rot“) unterschieden wird.

Dank der besonderen Eigenschaften des verwendeten neuronalen Netzes konnte das Werkzeug derart konzipiert werden, dass sich der Anwender die Überwachungsmodelle eigenhändig – sozusagen per Knopfdruck - erzeugen kann. Dazu wählt sich der Prozessexperte die notwendigen Prozessinformationen in Form von sog. Lern- oder auch Referenzdatensätzen aus. Dieser datengetriebene Ansatz unterscheidet sich grundlegend von der

Vorgehensweise bei analytisch modellbasierten Methoden. Diese erfordern eine aufwändige Modellierung und viel Erfahrung vonseiten der Entwickler. Hinzu kommt: Ändert sich der Prozess, z. B. weil bauliche oder prozessoptimierende Maßnahmen durchgeführt wurden, muss auch das analytische Modell entsprechend angepasst werden. Zusätzliche Modellierungsaufwände sind die Folge. Dagegen bedarf es bei dem hier vorgestellten datengetriebenen Ansatz lediglich einer neuerlichen Anpassung des Modells durch den Anwender.

Um das konkrete Vorgehen im Zusammenhang mit der Anwendung des Überwachungstools ausgehend vom Aufsetzen der Software, über das Trainieren von Modellen bis hin zum eigentlichen Überwachungsprozess näher darzustellen, seien im Folgenden die vom Anwender durchzuführenden „9 Schritte“ kurz beschrieben [7]:

1. Installieren der Software auf einem etwas leistungsfähigeren handelsüblichen PC: Es werden keine besonderen Anforderungen an die Hardware gestellt. Die Software läuft auf allen gängigen 64bit-Betriebssystemen.
2. Anbindung der Software an den Prozess: Der Process Unit Monitor verfügt übe OPC- und SQL-Schnittstellen. Im Fall der OPC-Schnittstelle werden historische Daten über OPC-HDA und Echtzeitdaten über OPC-DA akquiriert. Nach außen werden Statusinformationen pro Process Unit mittels des internen OPC-DA Servers zu Verfügung gestellt.
3. Auswahl der zu überwachenden Anlagenteile bzw. Teilanlagen (Process Units): Dies können besonders kritische oder für den Prozess besonders bedeutende Anlagenteile sein. Beispiele sind die Überwachung einer Destillationskolonne, einer Wärmetauscher-Pumpe Kombination, eines Schneckenextruders oder eines Kessels samt angeschlossener Peripherie - wie Rohrleitungen und Instrumentierung.
4. Festlegung der zu überwachenden Prozessparameter: Überwacht werden prozesstechnisch zusammengehörige Anlagenteile bzw. Teilanlagen. Die zur Überwachung notwendige Sensorik/Aktorik legt der Prozessexperte fest. Er bestimmt, welche Drücke, Temperaturen, Durchflüsse, etc. in die Überwachung einbezogen werden und welche nicht. Relevant sind alle Ist-, Soll- und Stellwerte der betrachteten funktionalen Überwachungseinheit. Die Software unterstützt die Konfiguration, indem Prozessvariable einfach an und abgewählt werden können.
5. Platzierung der Ampeln zur Visualisierung des Process Unit Status auf Bedienbildern von PIMS oder PLS: Für jede Process Unit wird eine Ampel (OK, Erhöhte Aufmerksamkeit, Fehler) auf dem zugehörigen Bedienbild visualisiert. Später können mögli-

che Abweichungen auf diese Weise in Echtzeit von den Anlagenfahrern registriert werden.

6. Selektion der Lern- bzw. Referenzdatensätze: Der Prozessexperte selektiert Prozessphasen, in denen die Anlage den Anforderungen entsprechend gefahren wurde. Indem pro Modell mehrere Produkte bzw. Lastzustände trainiert werden können, reduzieren sich die Aufwände für die Modellerstellung.
7. Trainieren des Modells: Das Modell einer Process Unit wird auf Knopfdruck in der Regel innerhalb einer Minute erstellt und kann im Anschluss sofort für die Überwachung verwendet werden.
8. Start der Überwachung: Die Process Unit wird auf Basis der zuvor festgelegten Referenz (Lerndaten) mit dem in Schritt 7 erstellten Modell überwacht. Abweichungen in den Prozessvariablen bzw. in deren Korrelationen werden übersichtlich in Form einer Top-Ten Darstellung präsentiert. Für jede Prozessvariable wird der prozentuale Anteil am Gesamtfehler der Process Unit dargestellt.
9. Statusüberwachung durch die Anlagenfahrer: Die Ampeln werden von den Anlagenfahrern überwacht. Bei „Gelb“ oder „Rot“ ist der Prozessexperte zwecks Detailanalyse zu informieren.

Schritt 6-9 ist erforderlichenfalls zu wiederholen und sollte idealerweise als Teil einer gelebten PAM-Strategie in den betrieblichen Alltag integriert werden. Die Aufwände sind überschaubar. Für die Aktualisierung eines Modells braucht es in der Regel nur wenige Minuten.

4. Anwendungsbeispiel aus der betrieblichen Praxis

In einer umfangreichen Testphase wurde der Process-Unit-Monitor mit Aufgabenstellungen verschiedener Schwierigkeitsgrade konfrontiert. Eine relativ einfache Aufgabe bestand darin, auf Basis historischer Prozessdateninformationen frühzeitig Statusinformationen über den Zustand einer Brüdenleitung am Kopf einer Destillationskolonne abzuleiten. Dazu wurden etwa 30 Messwerte und Stellgrößen ausgewertet. Mithilfe der softwaregestützten Auswertung der Druck und Temperaturmesswerte am Kolonnenkopf konnte das beginnende Zusetzen von Rohrleitungen bereits mehrere Stunden vor dem Überschreiten der im Leitsystem konfigurierten, relevanten Alarmgrenze erkannt werden.

Bei einem sehr viel komplexeren Einsatzbeispiel wurde eine komplette Destillationskolonne einschließlich ihrer Peripherie, wie etwa der Zulaufsteuerung, Dampferzeugung und Destillatkühlung, überwacht. Insgesamt verarbeitet das Monitoring-System in diesem Fall rund 80 Eingangsgrößen. Tatsächlich konnte ein schleichender Fehler, ausgelöst durch Ab-

rasion eines Ventilkegels, bereits frühzeitig erkannt werden und zwar zu einem Zeitpunkt, als die unmittelbare Auswirkung des Verschleißvorgangs noch von einem Durchflussregler kompensiert wurde. Eine unmittelbare Prozessbeeinflussung lag also noch nicht vor.

Ein weiterer bedeutender Überwachungserfolg konnte im Rahmen eines Anwendertests in einem Betrieb von Bayer Material Science erzielt werden [8]. Nach vorausgehender Schulung des Prozessexperten, konnte noch am selben Tag die zu überwachende Teilanlage als Process Unit angelegt werden. Die zu überwachende Process Unit umfasste einen Fallfilmverdampfer mit angeschlossener Pumpe samt Peripherie als funktionale Einheit zur thermischen Stofftrennung (Bild 2). Durch unregelmäßig auftretende Vercrackungsprozesse im Fallfilmverdampfer entstanden vereinzelt Feststoffe, die in der Folge das Leitrad der nachgeschalteten Kreiselpumpe beschädigten.

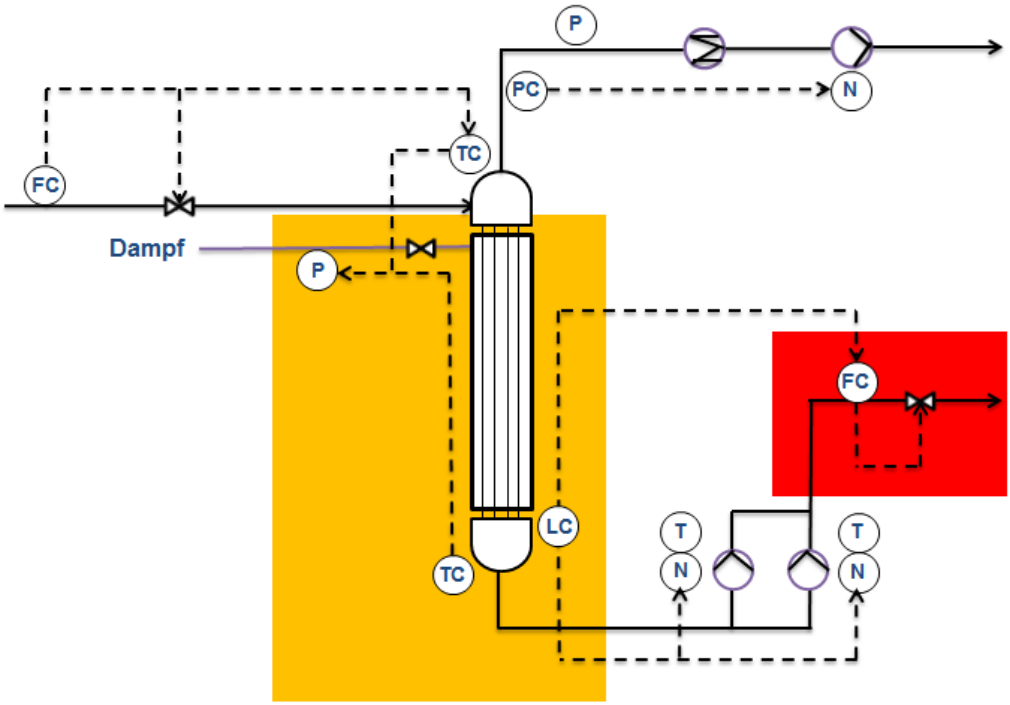


Bild 2: Schematische Darstellung der überwachten Teilanlage. Die gelb bzw. rot hinterlegten Prozessparameter kennzeichnen den Verlauf der aufgetretenen Fehlzustände.

Das sich einstellende Fehlerbild scheint dabei immer gleich. Ab einem bestimmten Zeitpunkt kann die Pumpe die Fördermenge durch die abrasiven Schädigungen am Schaufelrad nicht länger aufrechterhalten, so dass schließlich der Füllstand am Boden des Verdampfers langsam ansteigt. Sobald die im Leitsystem implementierte Alarmgrenze überschritten wird,

weicht die Betriebsmannschaft üblicherweise auf die redundante Pumpe aus, um Produktausfälle zu vermeiden. Die Abnutzungsschäden am Spalttopf, Laufrad und/oder Gehäuse führten jedoch regelmäßig zu aufwendigen und kostspieligen Reparaturen an der Pumpe.

Bild 2 zeigt den Aufbau der Teilanlage schematisch. Der Produktstrom ist lastabhängig vorgegeben. Der Manteldampfdruck wird mittels der Produkttemperatur am Boden des Verdampfers geregelt und der Füllstand im Sumpf des Fallfilmverdampfers wird über den abgezogenen Produktstrom geregelt. Das Vakuum wird über die Drehzahl der Vakuumpumpe (in Bild 2 oben rechts) konstant gehalten.

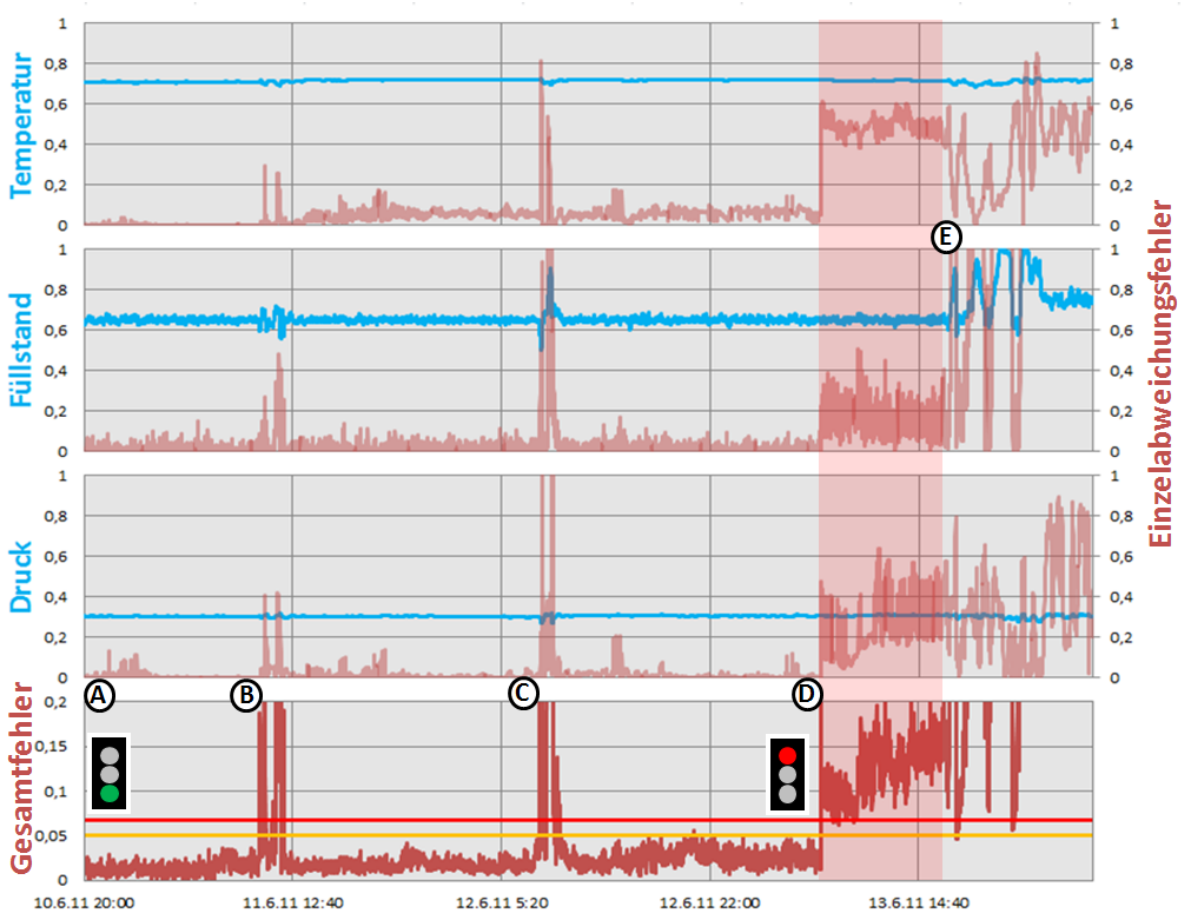


Bild 3: Kritischer Anstieg des Füllstandes (zweite Grafik von oben) am Boden des Fallfilmverdampfers. Die Statusaussage auf Basis des Gesamtfehlers liefert ein Frühwarnsignal (rote Ampel). Die Wertebereiche der Prozessvariablen wurden mit den zugehörigen Meßbereichen normiert.

Zur Definition der Process Unit wurden die in Bild 2 dargestellten Prozessparameter (ca. 20 Ist- und Stellwerte) ausgewählt. Anschließend wurde das Referenzmodell erstellt. Da auf der Anlagenstraße drei Produkte gefahren werden, wurden mehrere Tage Referenzdaten von jedem einzelnen Produkt ausgewählt. Nachdem das Modell automatisch angelegt wurde

befand sich die Process Unit bestimmungsgemäß unterhalb der Gelbschwelle im Status „OK“ (vergl. Grüne Ampel Bild 3 A). Etwa 15 Stunden (B) später bzw. erneut nach nochmals weiteren 20 Stunden (C) kündigten sich bereits erste Störungen im Verdampfer an. Hier liegt es im Ermessen des Prozessexperten, ob diese „Vorboten“ möglicher schleichender Verschlechterungsprozesse bereits zur Alarmierung des Anlagenfahrers führen sollen. Auf Wunsch lassen sich kurzzeitige Grenzüberschreitungen einfach unterdrücken. Etwa einen weiteren Tag (D) später und ca. neun Stunden, bevor der Füllstand am Boden des Verdampfers den ersten im PLS konfigurierten Alarm auslöste (E), wurde die Gelb- bzw. Rotschwelle jedoch dauerhaft überschritten. Innerhalb dieses Zeitraumes (nur der rottransparente Bereich in Bild 3 wird bewertet) zeigt das System in absteigender Reihenfolge die Sumpftemperatur, den Füllstand und den Dampfdruck als größte „Abweichler“ von der zuvor erstellten Referenz an. Die betroffenen Prozessparameter sind in Bild 3 gelb hinterlegt dargestellt. Für den Prozessexperten vor Ort erschien diese „Fehlersignatur“ der „Top drei“ Abweichungsfehler unmittelbar plausibel, da diese Prozessparameter kausal miteinander zusammenhängen. Der Grund für die unerwünschte Feststoffbildung liegt wahrscheinlich in kurzzeitigen Schwankungen in der Zusammensetzung des zu trennenden Stoffstroms, sodass es in den Rohren des Fallfilmverdampfers zum Abriss des Flüssigkeitsfilms kam und in der Folge zur unerwünschten Feststoffbildung. Nach weiteren acht Stunden änderte sich die „Top drei“ Fehlersignatur mit dem Anstieg des Flüssigkeitsstandes erneut (nicht dargestellt). Schließlich griff die Durchflussregelung (Bild 2 rot hinterlegt) mit fortschreitender abrasiver Schädigung der Pumpe immer mehr in den Prozess ein, um die schwindende Förderleistung zu kompensieren. Erwartungsgemäß verursachte der Stellwert des Durchflussreglers ab diesem Zeitpunkt den größten Abweichungsfehler (nicht dargestellt). Schließlich dauerte dieser Zustand an, bis nach fünf Stunden auf die redundante Pumpe ausgewichen wurde.

Vergleicht man auf Bild 3 Prozessphase D-E mit Prozessphase C-D, stellt sich die Frage, welche Mechanismen zu dem sprunghaften Anstieg der Abweichungsfehler (rot dargestellt) geführt haben. Denn augenscheinlich ist kein abweichendes Verhalten in den dargestellten Prozessvariablenverläufen zu erkennen. Zur Beantwortung dieser Frage sei an dieser Stelle auf den Vortag zum Thema am 14. Juni unter dem Themenschwerpunkt 27 Bereich C6 verwiesen.

In der Folgezeit wurde die Überwachung aufgrund der überzeugenden Ergebnisse vom Prozessexperten weiterbetrieben. Etwa sechs Wochen später zeichnete sich der Fehler erneut ab. Nach den gewonnen Erfahrungen schaltete der Betrieb diesmal frühzeitig auf die redundante Pumpe um. Nach zunächst erfolgloser Spülung der außer Betrieb gesetzten Pumpe, zeigte der Überwachungsstatus weiterhin „rot“ an. Dann jedoch wurde sie zerlegt

und händisch gereinigt. Aufgrund der frühzeitigen und – wie sich jetzt gezeigt hat – rechtzeitigen Alarmierung lagen keine sichtbaren Schäden vor. Schließlich sprang das Statussignal nach der erfolgreichen Reinigung bzw. Wiederinbetriebnahme der Pumpe von „rot“ auf „grün“.

5. Zusammenfassung

Der beschriebene Process Unit Monitor stellt ein prozessunabhängig adaptierbares und universell anwendbares Monitoringsystem zur Überwachung von Anlagenteilen bzw. Teilanlagen dar. Er basiert auf einem selbstlernden neuronalen Algorithmus, der ohne erhebliche Engineering- und Modellierungsaufwände sowie auf Basis der bestehenden Feldinstrumentierung zum Einsatz kommen kann.

Anwendungsschwerpunkte sind nicht standardmäßig mit einer Eigendiagnose ausgerüstete Anlagenkomponenten, wie etwa Kessel und Rohrleitungen, Wärmetauscher oder Destillationskolonnen. Zudem kann das Überwachungswerkzeug zur Ergänzung bestehender Condition Monitoring Systeme sowie zur Diagnose bestimmter störungsanfälliger Assetkombinationen eingesetzt werden – beispielsweise um kausal bedingte Wirkungszusammenhänge von Verschlechterungsprozessen aufzudecken und zu eliminieren.

Ferner wurde anhand eines eingängigen Praxisbeispiels demonstriert, wie der Process Unit Monitor - optimaler Weise eingebettet in eine betriebliche PAM-Strategie - zur Steigerung der Gesamtanlageneffektivität (OEE) eingesetzt werden kann.

Referenzen

[1] Namur-Empfehlung NE129: Plant Asset Management. 12.10.2009; VDI/VDE Richtlinie 2651, Blatt 1: Plant Asset Management (PAM) in der Prozessindustrie – Definition, Modell, Aufgabe, Nutzen. (2009) Ausgabe 9.

[2] Mühlenkamp, S., Geipel-Kern, A.: Plant Asset Management: In der Diagnose mechanischer Assets schlummert ungenutztes Potenzial, PROCESS, (2011) Nr. 3.

[3] Schmitt-Pauksztat, G., Ochs, S., Hotop, R., Frey, C., Kunzte, H.B., Process Unit Monitoring mit Verfahren des maschinellen Lernens, VDI-Berichte Nr. 2032, pp. 219-222, VDI-Verlag, 2008.

[4] Hotop, R., Ochs, S., Ross, T.: Überwachung von Anlagenteilen, atp edition, 06/2010.

[5] Kuschnerus, N., Drathen, H.: Welche Automatisierung braucht man wirklich? atp – Automatisierungstechnische Praxis 49 (2007) Ausgabe 4, S. 40-48.

[6] Frey, C. W.: Prozessdiagnose und Monitoring feldbusbasierter Automatisierungsanlagen mittels selbstorganisierender Karten und Watershed-Transformation, at-Automatisierungstechnik 56 (2008) Ausgabe 7, S. 374-380.

[7] Ross, T,. Ochs, S., Frey, C.W.: Neue Software zur Überwachung „nicht intelligenter“ Anlagenteile – Teil 1, Chemie Technik, (2011) Ausgabe 11, S. 18-20.

[8] Ross, T,. Ochs, S., Frey, C.W.: Neue Software zur Überwachung „nicht intelligenter“ Anlagenteile – Teil 2, Chemie Technik, (2011) Ausgabe 12, S. 19-21.