



# Alle Assets im Blick

Zustandsabhängige Instandhaltung in einem Steckelwalzwerk von Outokumpu  
Magnus Tunklev, Per-Olov Gelin, Anders Bohlin

In Produktionsanlagen, die an sieben Tagen in der Woche rund um die Uhr arbeiten, können ungeplante Stillstände äußerst kostspielig werden. Dass eine angemessene Instandhaltung nicht nur einen großen Einfluss auf die Produktionsleistung, sondern auch auf die Produktqualität hat, muss nicht erwähnt werden. Umso wichtiger ist eine klare Instandhaltungsstrategie für die Sicherung eines zuverlässigen Prozesses und einer hohen Verfügbarkeit.

Der Schlüssel zu einer besseren Instandhaltungsplanung besteht darin, den «Gesundheitszustand» aller Betriebsmittel und die geschätzte Zeit bis zum Ausfall zu kennen. In einem komplexen System sind diese Informationen jedoch nicht leicht zu bekommen. Zwar gibt es verschiedene Systeme, die den Zustand eines Systems überwachen und die verbleibende Lebensdauer vorhersagen, doch was bisher auf dem Markt fehlte, war eine Komplettlösung, die auf alle Arten von Betriebsmitteln (Assets) anwendbar ist

und auf einer industriellen Softwareplattform basiert.

Ein solches System ist nun in enger Zusammenarbeit zwischen ABB und dem Steckelwalzwerk von Outokumpu in Avesta (Schweden) entstanden. Das System liefert die nötigen Informationen über den Verschleiß von Betriebsmitteln und ist in der Lage, die verbleibende Lebensdauer von kritischen Assets wie Lager in der Produktionslinie vorherzusagen und somit zur Verbesserung der Instandhaltungsplanung beizutragen.

## Sensorik &amp; Regelung

Seit vielen Jahren werden Prozessleit- und Automatisierungssysteme optimiert und immer besser abgestimmt, weshalb es in diesen Bereichen heute nur noch wenige Verbesserungsmöglichkeiten gibt. Die OEE<sup>1)</sup> ist schnell zu einem Schlüsselement für die meisten Fertigungsanlagen geworden. Da ungeplante Stillstände für jede Produktionsanlage mit hohen Kosten verbunden sind, stehen die Asset-Optimierung und Instandhaltungsplanung zunehmend im Vordergrund. So ist zur Steigerung der Rentabilität eine gut organisierte Instandhaltung unerlässlich.

Die zustandsabhängige Instandhaltung ist ein automatischer Prozess, der bevorstehende Störungen erkennen soll, bevor sie kritisch werden. Dadurch wird eine präzisere Planung der vorbeugenden Instandhaltung ermöglicht. Zurzeit sind verschiedene Zustandsüberwachungssysteme erhältlich, von denen einige auf Statistiken früherer Ausfälle und andere auf physikalisch motivierter Modellierung (First-Principle-Modellierung) basieren.

Für das Steckelwalzwerk von Outokumpu<sup>2)</sup> in Avesta (Schweden) **1** waren diese Lösungen jedoch nicht ausreichend. Das Unternehmen war auf der Suche nach einem kompletten Lösungspaket zur Online-Zustandsüberwachung, das auf alle Betriebsmittel einer Produktionsanlage anwendbar ist und Informationen über deren Status, kumulierten Verschleiß und verbleibende Lebens-

dauer liefert. Darüber hinaus sollte das System eine optimierte Instandhaltungsplanung ermöglichen, um teure ungeplante Stillstände oder unnötige vorbeugende Instandhaltungsmaßnahmen zu vermeiden. Das Unternehmen wandte sich an ABB, und gemeinsam wurde ein System entwickelt, das nicht nur all diese Anforderungen erfüllt, sondern auch in jeder Art von Industrieanlage eingesetzt werden kann.

Die Lösung von ABB/Outokumpu basiert größtenteils auf dem Industrial<sup>IT</sup> Extended Automation System 800xA<sup>3)</sup> von ABB, das eine effiziente, nahtlose Integration von ABB-eigenen Lösungen mit Lösungen anderer Hersteller wie computergestützten Instandhaltungs-Managementssystemen (Computerized Maintenance Management System, CMMS) ermöglicht. Die 800xA-Plattform liefert die Grundfunktionen für eine effiziente Entwicklung und Integration von Lösungen zur automatischen Zustandsüberwachung als Ergänzung zur traditionellen Prozessführung.

Diese Lösung zur Asset-Optimierung und Zustandsüberwachung soll im Folgenden genauer betrachtet werden.

### Systemübersicht

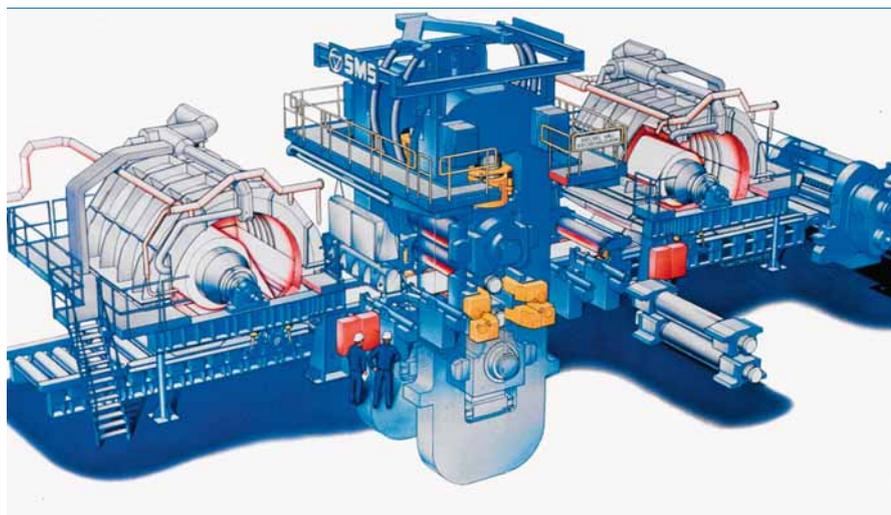
Die Gesamtlösung besteht aus einer Reihe von Anwendungen, die in der **Infobox** aufgeführt sind. Neben bestehenden ABB-Softwaretools umfasst das Lösungspaket auch neu entwickelte Tools, mit denen der Verschleiß

und die Lebensdauer von Assets bestimmt werden können. Folgende Funktionalitäten stehen damit zur Verfügung: Berechnung des kumulierten Lagerverschleißes, Erkennung von Lagerschäden, Schätzung der verbleibenden Lebensdauer, Erkennung von Abweichungen vom normalen Verhalten, Sensordiagnose sowie Benachrichtigungen per SMS und E-Mail.

**2** zeigt eine Bildschirmkopie einer typischen Statusansicht (auf einer untergeordneten Ebene) für ein Asset. Alle Diagnosemeldungen werden entweder grün (OK), gelb (Warnung) oder rot (Alarm) angezeigt. Die verbleibende Lebensdauer des Assets wird in Betriebsstunden angegeben. Tritt ein Problem auf, können die Daten auf verschiedenen untergeordneten Ebenen genauer betrachtet und analysiert werden. Eine besondere Eigenschaft des Systems ist die Berechnung des kumulierten Verschleißes. Dies gilt speziell für Teile (z. B. Treibrollen), die aus bestimmten Gründen entfernt und woanders eingesetzt werden. Hierbei aktiviert der Bediener für jedes Betriebsmittel manuell eine Funktion zur Speicherung einer ID durch das Wear Aspect System **3**. Wird ein altes Betriebsmittel an einem neuen Ort installiert, so wird der bisherige Verschleiß aufgerufen und die Berechnung des Verschleißes fortgesetzt.

Hierbei ist es wichtig zu verstehen, wie die Lebensdauer eines Assets bestimmt wird. Dies kann auf unterschiedliche Weise erfolgen, doch ein entscheidender Faktor ist die Definition des Ausfalls. Dies ist der Zeitpunkt, an dem das Asset normalerweise aufgrund von Geräuschen, Vibrationen oder vermin-

**1** Das Steckelwalzwerk von Outokumpu in Avesta



**Infobox** Im Outokumpu-Steckelwalzwerk installierte Systemkomponenten

- 800xA SV 3.1
- 800xA Asset Optimization (inkl. Asset Monitore)
- Inform<sup>IT</sup>
- Wear Aspect System (Neu)
- Condition Severity Aspect System (Neu)
- DriveMonitor zur Lagerdiagnose
- Argus CC4 zur Datenerfassung
- Argus OPC Server (Neu)
- PCA Model Builder Tool (Neu)

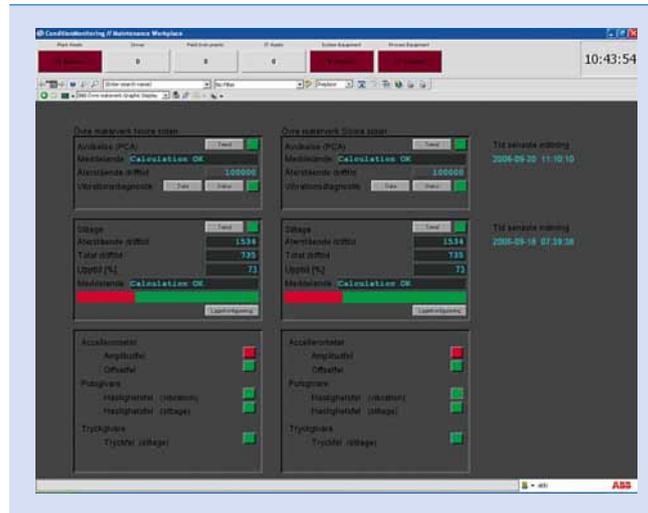
derter Leistung ausgetauscht wird. Dies geschieht vor dem eigentlichen mechanischen Versagen des Betriebsmittels.

Damit die verbleibende Lebensdauer berechnet werden kann, muss der Verschleiß im Verhältnis zur Betriebsdauer bekannt sein. Zur Schätzung der Restlebensdauer eines Lagers mit einer bestimmten Belastung wird die bewährte L10-Theorie von SKF [2] herangezogen. Das Schwierige daran ist, die Schwankungen in der Belastung und Drehzahl zu berücksichtigen und den kumulierten Gesamtverschleiß über die Zeit zu integrieren.

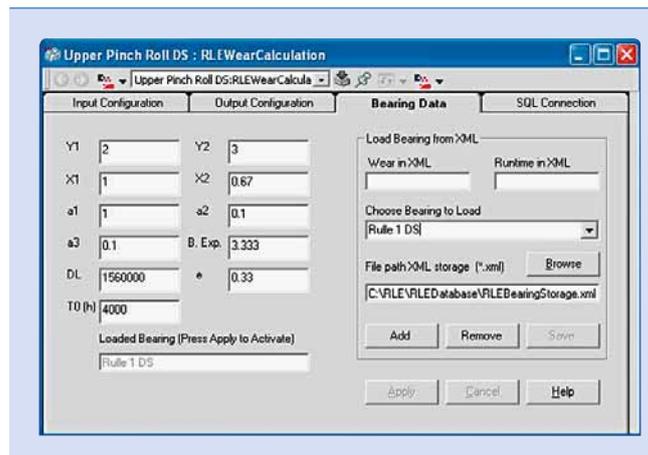
Zunächst werden kontinuierlich Daten zur Belastung und Drehzahl vom Datenaufzeichnungssystem Argus<sup>4)</sup> gesammelt. Diese Daten werden dann als OPC-Werte an das System 800xA von ABB übermittelt. Die aus dem kumulierten Verschleißwert berechnete verbleibende Lebensdauer liefert nur einen groben Richtwert für den täglichen Verschleiß des Assets, denn der absolute Wert für den Lagerverschleiß hängt von verschiedenen Umgebungsvariablen wie Versatz, Lagerströmen, Rissen und Spiel ab und ist deshalb möglicherweise nicht sehr genau.

Aus praktischen Gründen wurde die Berechnung des Lagerverschleißes in vier Intervalle aufgeteilt: prähistorisch, alt, neu und Prognose **4**. Das Intervall «prähistorisch» entspricht dem Zeitraum vor Beginn der Datenaufzeichnung und gilt vor allem für alte Lager, die bereits lange vor der Installation des Systems in Betrieb waren. Wird

**2** Statusansicht (untergeordnete Ebene) der oberen Treibrolle mit simulierter Erkennung von Lagerschäden und Anomalien, Verschleißberechnung und Sensorüberwachung



**3** Bildschirmansicht der Lagerkonfiguration und ID-Auswahl



ein neues Lager bei aktiver Datenaufzeichnung installiert, ist der prähistorische Wert gleich null. Das Intervall «alt» beginnt mit der Aufzeichnung und reicht bis zur vorletzten Charge. Das Intervall «neu» umfasst die letzte Charge, und das Intervall «Prognose» wird schließlich dazu verwendet, den zukünftigen Verschleiß aus dem gleitenden Durchschnitt des aktuellen Verschleißes zu schätzen.

**Prähistorischer Verschleiß**  
Wird ein Datenaufzeichnungssystem für die Verschleißberechnung implementiert, ist eine Vielzahl der Lager höchstwahrscheinlich bereits seit Monaten in Betrieb. Dies muss bei den Berechnungen berücksichtigt werden. Im System von ABB/Outokumpu wird die Betriebsdauer vor Beginn der Aufzeichnung durch den Parameter T0 in **3** dargestellt. Der prähistorische und zukünftige Verschleiß wird dann mithilfe von Durchschnittswerten aus dem Intervall «alt» geschätzt. Dies wird gemacht, weil der Verschleiß von Charge zu Charge sehr unterschiedlich ausfallen kann und daher zu einem realistischen Durchschnittswert geschätzt werden muss. Die verwendeten Durchschnittswerte sind: Betriebsdauer pro Gesamtzeit, Verschleiß pro Umdrehung und Umdrehungen pro Betriebsdauer. Da die Erfassung der Daten im Intervall «alt» erfolgt, werden die Durchschnittswerte kontinuierlich online aktualisiert, sodass nach einigen Wochen eine Annäherung<sup>5)</sup> erfolgt. Der kumulierte Gesamtverschleiß entspricht der Summe aus den einzelnen Intervallen.

Mithilfe der konvergierten Durchschnittswerte im Intervall «alt» können nun die verbleibende Betriebsdauer und die verbleibende Gesamtzeit berechnet werden.

#### Erkennung von Anomalien

Sensoren sind die Augen und Ohren von Prozessleitsystemen. In modernen Fertigungsanlagen überwachen sie jeden Aspekt der Anlagenaktivität.

#### Fußnoten

<sup>1)</sup> OEE (Overall Equipment Effectiveness) ist das in der Industrie anerkannte Werkzeug zur Messung und Überwachung der Produktionsleistung.

<sup>2)</sup> Outokumpu ist ein internationales Edelstahl- und Technologieunternehmen mit Hauptsitz in Espoo, Finnland.

<sup>3)</sup> Das System 800xA ist eine Automatisierungsplattform, die das zentrale Automatisierungssystem einer Anlage (das Prozessleitsystem) mit allen anderen für die Produktivität und Wirtschaftlichkeit der Anlage wichtigen Anwendungen verknüpft. Dazu gehören Engineering, Dokumentation, Qualitätslenkung, Sicherheit, intelligente Instrumentierung, Asset Optimization und Instandhaltungsmanagement. Weitere Informationen unter <http://www.abb.de> > Produktüberblick > Prozessleitsysteme > 800xA.

<sup>4)</sup> Argus wurde von ABB Service entwickelt.

<sup>5)</sup> Ein kurzer Stillstand zu Beginn der Produktion führt zu einer deutlichen Senkung des durchschnittlichen Verhältnisses zwischen Betriebsdauer und Gesamtzeit. Nach einigen Wochen ist dieser Effekt jedoch nicht mehr erkennbar.

## Sensorik & Regelung

Doch auch seltene oder neue Fehler können auftreten, und wenn diese nicht rechtzeitig und mit ausreichender Genauigkeit erkannt werden, kann es zu Problemen kommen. Dies muss bei der Entwicklung jedes neuen Systems berücksichtigt werden.

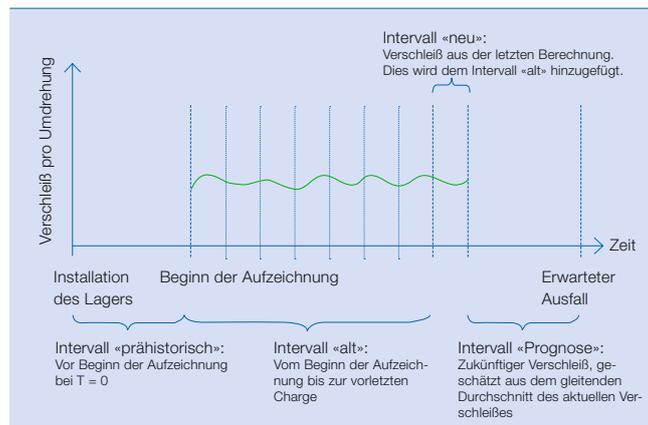
Die bevorzugte Methode zur Erkennung von Abweichungen besteht darin, das System mit normalen Daten zu «schulen». Zur Modellierung des normalen Verhaltens wurde die sogenannte Hauptkomponentenanalyse (Principal Component Analysis, PCA)<sup>6</sup> gewählt, die auf der linearen Reduktion von Variablen basiert. Das im Rahmen dieses Projekts entwickelte PCA-Modellierungstool ist allgemeingültig und kann auf alle Arten von Prozessdaten angewandt werden. Bei Outokumpu sind es Vibrationsdaten. Entwickelt sich im Laufe der Zeit ein Schaden, so zeigt sich die Abweichung vom Normalverhalten – im PCA-Raum – im Residuum (Q-Wert) der neuen Daten, die auf das PCA-Modell projiziert werden. Bei steigendem Q-Wert kann mithilfe der zeitlichen Veränderung die Zeit bis zum Erreichen einer vorgegebenen Alarmgrenze vorhergesagt werden.

Wendet man das PCA-Modell auf ein schadenfreies, neues Lager an, ist die resultierende verbleibende Lebensdauer unendlich. Daher wird die mithilfe des kumulierten Verschleißes berechnete verbleibende Lebensdauer als Richtwert verwendet. Das PCA-Modell liefert erst dann einen realistischen Wert, wenn ein Schaden erkannt wird. In diesem Fall gilt die mit dem PCA-Modell ermittelte verbleibende Lebensdauer als zuverlässiger, weil

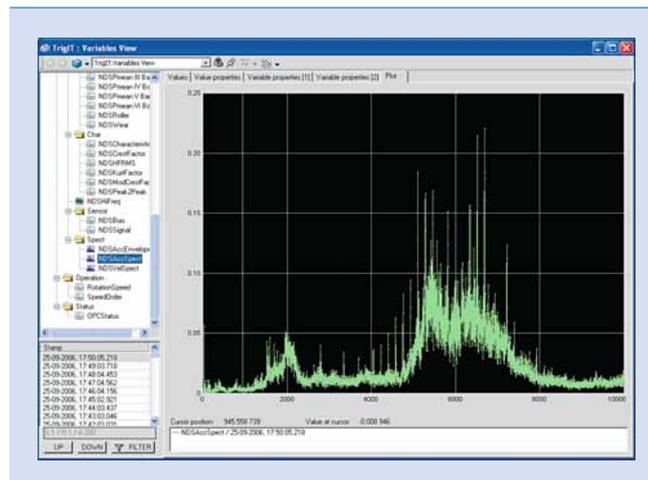
Fertig gewalztes Metallblech auf einer Rolle



4 Die verschiedenen Verschleißintervalle



5 Ein FFT-Spektrum unter DriveMonitor für die Beschleunigung des Abzuggebläses mit einem wahrscheinlichen Schaden im flügelseitigen Lager



dieses Modell eine bessere Schätzung der Schadensentwicklung liefert.

### Zustandserkennung von Assets

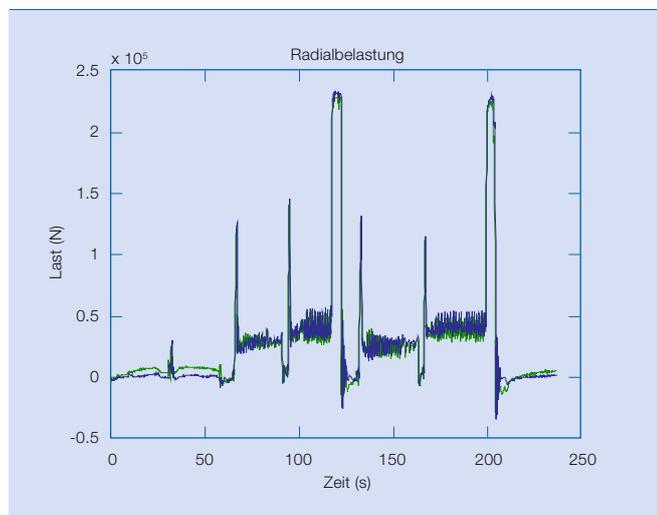
Jedes Lager muss konfiguriert werden, wobei die spezifischen Schadenshäufigkeiten für jedes Lager anhand von Herstellerangaben errechnet werden. Der aktuelle und tatsächliche Zustand der Lager (fehlerfrei oder defekt) wird vom Diagnosemodul DriveMonitor [1] erkannt. Die DriveMonitor-Lösung kann Schäden am Außenring, Innenring und den Rollen online erkennen. Zusätzlich können mit diesem Werkzeug Fehlererkennungsalgorithmen für andere Assets konfiguriert werden. Um zum Beispiel einen Sensorfehler in den Beschleunigungsmessern (siehe 5) zu erkennen, werden der systematische Fehler und die Standardabweichung des Signals berechnet. Überschreitet das Ergebnis einen vorgegebenen Schwellwert, wird ein Alarm ausgelöst. Einige Signale außerhalb des Überwachungsbereichs von DriveMonitor (z. B. Signale von Last- und Drehzahlsensoren zur Verschleißberechnung) werden direkt von Asset Monitoren überwacht, um sicherzustellen, dass bei Überschreiten der Schwellwerte entsprechende Alarme ausgelöst werden.

### Experimentelle Ergebnisse

Das System zur Asset-Optimierung und Zustandsüberwachung wurde für folgende vier Betriebsmittel des Walzwerks installiert: obere Treibrolle, untere Treibrolle, Rollgang und Abzuggebläse<sup>7</sup>. Im Folgenden werden die mit dem Argus-PC gesammelten Daten für die Lager der oberen Treibrolle betrachtet.

Die Bearbeitung jeder Bramme dauert normalerweise zwischen 5 und 7 Minuten. In diesem

6 Radiale Belastung der Lager der oberen Treibrolle auf der Antriebsseite (— DS) und Arbeitsseite (— WS).



Beispiel wurden die Belastungswerte (wie in 6 gezeigt) und die Drehzahlen der Lager von der Argus-Einheit gemessen und in einer Datei gespeichert. Diese Daten wurden dann vom Argus-OPC-Server in eine OPC-Matrix umgewandelt. Die in 6 erkennbaren extremen Lastspitzen treten auf, weil das Ende jeder Bramme gegen die Treibrolle schlägt, wenn die eingespannte Seite von der Haspel gelöst wird. Berechnungen haben ergeben, dass durch eine Halbierung dieser Spitzen auf  $1,2 \times 10^5$  N die Lebensdauer der Lager um den Faktor fünf verlängert werden könnte. Die Berechnung des kumulierten Verschleißes zeigt einen unterschiedlichen Verschleiß bei verschiedenen Brammen. Dies hängt höchstwahrscheinlich mit der Dicke der Bramme, der zum Walzen benötigten Zeit und dem jeweiligen Werkstoff zusammen. Eine genauere Untersuchung der Einflüsse verschiedener Variablen steht noch aus.

Gemessen an den bisher gewonnenen Ergebnissen erscheint es vernünftig, die Zeit zwischen den Wartungsstillständen zugunsten der produktiven

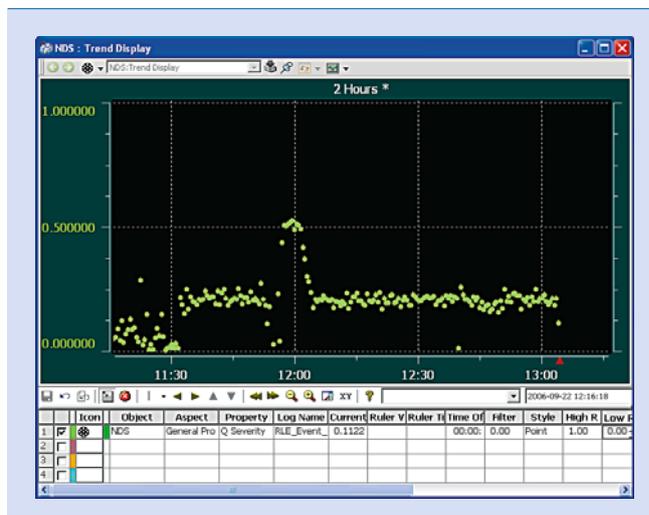
Betriebszeit zu verlängern. Der Algorithmus wurde an der Antriebsseite (Driving Side, DS) der oberen Treibrolle getestet. Hier sind die Unterschiede im Verschleiß zwischen einzelnen Chargen besonders groß und können bis um den Faktor fünf voneinander abweichen. Dies wirkt sich linear auf die verbleibende Betriebsdauer aus. 7 zeigt den mithilfe des PCA-Modellierungstools ermittelten Q-Trend für die Vibrationsdaten des Gebläses.

#### Vorteile für beide Seiten

Die Lösungen zur Asset-Optimierung und Zustandsüberwachung eröffnen neue interessante Geschäftsmöglichkeiten für ABB. Bleibt die Vermarktung des Systems jedoch auf das Walzwerksegment beschränkt, dürfte sich die Entwicklung für ABB erst in ca. 6 Jahren auszahlen. Nach Ansicht von Anders Bohlin, dem leitenden Projektmanager bei Outokumpu, wird sich das System bei erwartungsgemäßer Funktion für Outokumpu bereits nach kurzer Zeit amortisieren.

Wie bereits erwähnt, ist das System insofern außergewöhnlich, als dass es

7 Ein mit dem PCA-Modellierungstool ermittelter Q-Trend für die Vibrationsdaten des Gebläses



nicht nur für Walzwerke, sondern für jede beliebige Industrieanlage verwendet werden kann. Das bedeutet eine erhebliche Steigerung des Geschäftspotenzials, sobald das System auch in anderen Branchen wie der Zellstoff- und Papierindustrie, der petrochemischen Industrie, dem Bergbau, der Zementindustrie, der Lebensmittel- und Getränkeindustrie oder der pharmazeutischen Industrie angeboten wird.

#### Magnus Tunklev

ABB Corporate Research  
Västerås, Schweden  
magnus.tunklev@se.abb.com

#### Per-Olov Gelin

ABB Industrial Solutions  
Västerås, Schweden  
per-olov.gelin@se.abb.com

#### Anders Bohlin

Outokumpu Stainless  
Steckelwalzwerk Avesta  
Avesta, Schweden  
anders.bohlin@outokumpu.com

#### Fußnote

9 Die Hauptkomponentenanalyse (PCA) ist eine effiziente Methode, um Daten auf Muster hin zu überprüfen und sie so darzustellen, dass ihre Ähnlichkeiten und Unterschiede deutlich werden. Wird ein Muster erkannt, lassen sich die Daten ohne größeren Informationsverlust komprimieren.

7) Bei allen antriebs- und arbeitsseitig

#### Literaturhinweise

- [1] Wnek, M., Orkisz, M., Nowak, J., Legnani, S.: «DriveMonitor: Eingebettete Intelligenz ermöglicht ein optimiertes Lebenszyklusmanagement von Antriebssystemen», ABB Technik 2/2006, S. 35–38
- [2] SKF-Produktdokumentation: «SKF spherical roller bearings – setting a new standard for performance and reliability»