

# Potentiale integrierter Online-Simulation und Zustandsmessung für die prognoseorientierte Maschinendiagnose

Ralph Baltes, Paul Burgwinkel

Institut für Maschinentechnik der Rohstoffindustrie, RWTH Aachen, Email: rbaltes@imr.rwth-aachen.de

## Einleitung

An Anlagen von integrierten Produktionsketten, gerade in der Schwerindustrie, werden hohe Anforderungen an Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit gestellt, da in Folge eines Anlagenausfalls hohe Stillstandskosten durch Produktionsausfall auftreten können. Um die Anlagenverfügbarkeit zu erhöhen, damit die ungeplanten Stillstandskosten zu minimieren, können geeignete Instandhaltungsstrategien und die heute verfügbaren technischen Möglichkeiten genutzt werden.

Am Institut für Maschinentechnik der Rohstoffindustrie (IMR) der RWTH Aachen wird an der Entwicklung eines Analysewerkzeugs geforscht, dass die klassischen Methoden der sensorgestützten Zustandsüberwachung mit den Möglichkeiten der numerischen Simulation von Anlagenkomponenten in Echtzeit miteinander verknüpft, um damit bauteilspezifisch eine Restlebensdauer zu prognostizieren. Als Referenzanlage dient eine Brammenstauchpresse, deren Komplexität sowie die dort auftretenden hohen Belastungen die Möglichkeit bietet, erstmals eine online Echtzeitsimulation mit klassischen Methoden der Zustandsüberwachung zu kombinieren, um daraus ein Analysewerkzeug mit einem deutlichen Mehrwert zu entwickeln. Dabei werden wenige Messgrößen aufgenommen und mittels Simulation Belastungen an nicht erfassten Bauteilen berechnet. Diese berechneten Beanspruchungen werden mittels Klassierung ausgewertet und zur Restlebensdauerabschätzung genutzt. Die gewonnenen Messdaten und Simulationsergebnisse werden mittels eines Condition Analysers ausgewertet und dienen zur Prognose und Planung von Instandhaltungsmaßnahmen.

## Condition Analyser

Der Einsatz von Condition Monitoring Systemen (CMS) zur Onlineüberwachung von Antriebssträngen und Maschinenkomponenten ist ein erster Schritt zur frühzeitigen Detektion von entstehenden Schäden [1, 2]. Damit lassen sich zustandsorientierte Instandhaltungsstrategien umsetzen. Dadurch lassen sich Folgeschäden und ungeplante Maschinenausfallzeiten signifikant reduzieren. Eine weite Verbreitung von CMS ist daher in den letzten Jahren in der Industrie zu verzeichnen gewesen [3, 4, 5].

Allerdings wächst mit steigender Komplexität der Maschine auch der Aufwand an Sensorik, um eine vollständige Zustandsbeurteilung durchführen zu können. Oft können Einzelkomponenten nicht oder nur mit sehr hohem Aufwand messtechnisch erfasst werden, so dass hier meist auf eine Überwachung dieser Komponenten verzichtet wird [6]. Durch die Ergänzung des Condition Monitoring mit Berechnungsergebnissen einer parallel zum Prozess

ablaufenden Online-Simulation können diese „Überwachungslücken“ teilweise geschlossen werden. Abhängig von der Art und dem Detaillierungsgrad des Simulationsmodells können hier parallel zum Prozess elektrische oder mechanische Größen ausgekoppelt werden, welche die Grundlage für eine Restlebensdauerberechnung oder Verschleißprognose bilden. Neben dem von dem CMS ermittelten Ist-Zustand („Schaden“ bzw. „Nicht-Schaden“) liefert die Online-Simulation komponentenbezogen dynamisch eine Belastungshistorie, die mit Hilfe einer Schadensakkumulationsrechnung in eine spezifische Restlebensdauer überführt werden kann. Die Auswertung und Gewichtung der unterschiedlichen Aussagen aus Messung (Condition Monitoring) und Simulation erfolgt mit Hilfe des Condition Analysers, der nach definierten Regeln Gewichtungen der Aussagen durchführt und entsprechende Meldungen und Informationen an ein nachgeschaltetes Instandhaltungsplanungs- und -steuerungssystem (IPS-System) weiterleitet. Der Aufbau eines solchen kombinierten Überwachungssystems ist schematisch in Abbildung 1 dargestellt.

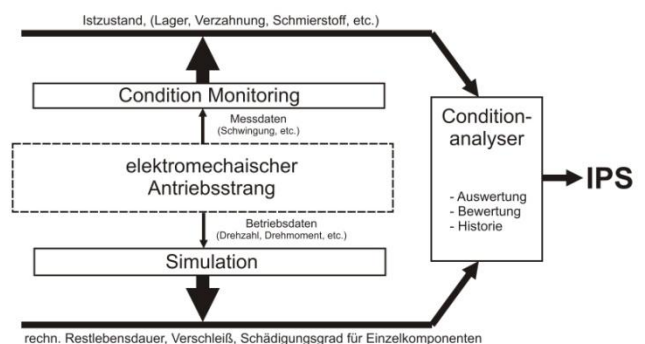


Abbildung 1: Schema des Condition Analysers

Eine weitere Funktion des Condition Analysers neben der Zustandbestimmung der überwachten Komponenten ist die Komprimierung und Archivierung der Mess- und Simulationsdaten. Es werden sowohl charakteristische Ausschnitte aus Zeitverläufen der Schwingungssignale des Condition Monitoring, als auch die Trendverläufe der hieraus ermittelten Kennzahlen gespeichert. Des Weiteren erfolgt eine sequenzielle Speicherung der erstellten Lastkollektive der betrachteten Antriebsstrangkomponenten in definierten Zeitintervallen [7]. Die so entstehende Datenbasis bildet einen maschinenspezifischen Historienspeicher, der parallel zum Maschinenbetrieb wächst und Daten aus sämtlichen Betriebszuständen – einschließlich möglicher Sonderereignisse – beinhaltet. Wird ein Schaden erkannt, so kann im Zuge einer Schadens- und Fehleranalyse auf diesen Historienspeicher zurückgegriffen und Informationen über mögliche Vorschädigungen und auch den Schadensverlauf ausgelesen werden.

## Numerische Online-Simulation

Im bisherigen Projektverlauf ist eine numerische Anlagensimulation erstellt worden. Die Simulation, bestehend aus einem elektrischen Modell des Antriebsstrangs sowie einem mechanischen Torsionsschwingungsmodell der Anlage, verwendet die gemessenen Drehmomente sowie Motorströme und Spannungen als Eingangsgröße. Im elektrischen Simulationsmodell wird aus der Frequenz und Spannungsamplitude unter Berücksichtigung der geometrischen Daten der elektrischen Maschine die aktuell abgegebene Drehzahl, sowie zusätzlich mit Hilfe der Motorströme, das Luftspaltmoment berechnet. Diese Größen werden an den mechanischen Teil der Simulation übergeben und dort unter Korrelation der gemessenen Drehmomente verwendet. Dabei wird mit Hilfe des Torsionsschwingungsmodells für jedes Bauteil, das in der Simulation abgebildet ist, ein eigenes Belastungsmoment berechnet. Somit wird die aktuelle Belastung jedes modellierten Bauelements überwacht. Dies ist insbesondere an den Stellen interessant, wo keine Sensorik appliziert werden kann. Insgesamt kann damit durch eine in der Anzahl begrenzte und gut zugängliche Drehmomentmessung die Zustände der instandhaltungsrelevanten Bauteile berechnet werden, so dass diese für weitere Analyseschritte verwendet werden können.

## Zustandsprognose

Zur Restlebensdauerbetrachtung der einzelnen Bauelemente wird ein zweiparametrischer Zählalgorithmus genutzt. Die Ergebnisse der Klassierung werden nun zur Restlebensdauerberechnung mit der ertragbaren Beanspruchung in Form der Wöhlerlinie des Bauteils zusammengeführt. Dadurch lässt sich eine kontinuierliche Schadensakkumulation berechnen und so die Restlebensdauer abschätzen. Ein Schema der Schadensakkumulationsrechnung ist in der Abbildung 2 dargestellt.

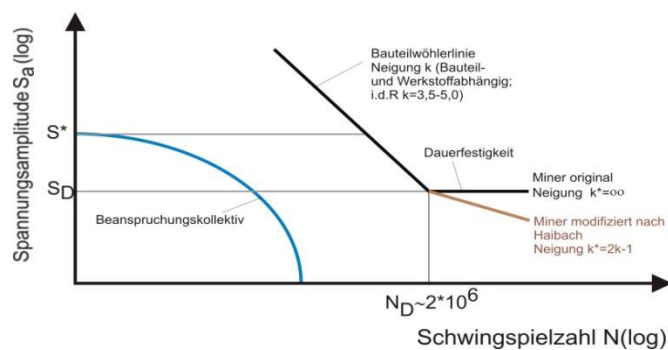


Abbildung 2: Schema Restlebensdauerabschätzung

Die Restlebensdauer wird dann gemeinsam mit Kennwerten, die aus den Messdaten mit klassischen Methoden des Condition Monitorings gewonnen werden, korreliert und instandhaltungsrelevante Kennwerte an das Instandhaltungsplanungssystem weitergegeben, so dass der Instandhalter die nötigen Informationen zur Planung von Wartungsarbeiten nutzen kann. [8]

## Zusammenfassung und Ausblick

Das Konzept eines Condition Analysers als erweitertes Werkzeug zur Maschinendiagnose und Prognose eines

Anlagenzustands wurde vorgestellt. Dabei stehen die Integration von mechanischer Torsionsschwingungs- und elektrischer Maschinensimulation auf einem Echtzeitsystem zur parallelen Online Simulation und den daraus gewonnen Ergebnissen mit der Korrelation von CMS Daten im Vordergrund.

Zukünftig besteht noch Integrationspotential von weiteren Modellen zur genaueren Abbildung des Anlagenverhaltens, insbesondere Modelle des Verschleißes.

## Literatur

- [1] Kumerow, Alexander, Schneider Manfred: Simulation als Hilfsmittel zur Interpretation von qualitätsmindernden Störgrößen in Flachwalzwerken. In: Best Practice and Trends in der Instandhaltung, S. 167 - 176 Herausgeber: H. Biedermann. TÜV-Verlag. Köln 2000
- [2] Möller, Werner: Die Maschine muss Störungen frühzeitig im Klartext melden. In: Industrie Anzeiger. Ausgabe 26/2005
- [3] Seeliger, A.: Körperschallbasierte Maschinendiagnose - Entwicklung und Perspektiven. In: Tagungsband 4. Aachener Kolloquium für Instandhaltung, Diagnose und Anlagenüberwachung, 06./07.11.2002, S. 1-24
- [4] Seeliger, A.; Bencze, A.; Wenzel, G.: Eimerkettenbagger im Braunkohlentagebau – Verfeinerte, messwertgestützte Modellierung des Graborgans mit Antrieb durch eine drehzahlgeregelte Synchronmaschine. Tagungsband des Dresdner Maschinenelemente Kolloquiums DMK 2003, Verlag Mainz, Aachen, S. 603 – 614
- [5] Seeliger, A.; Geropp, B.; Bauer, B.: Condition monitoring and predictive maintenance in mining industry using vibration analysis for diagnosis of gear boxes. IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety for Technical Processes, Safeprocess '97 in Kingston upon Hull, 26.-28.08.97, S. 994-997
- [6] Wünsch, D., Liesenfeld, G., Christianhemmers: Modellbildung und Simulation mechanischer Systeme mit hybriden Antrieben. Teil 1: Modellierung des elektromechanischen Gesamtsystems. In: Antriebstechnik 35 (1996), Nr. 5, S. 54 – 56
- [7] Laschet, A.: Simulation von Antriebssystemen – Modellbildung der Schwingungssysteme und Beispiele aus der Antriebstechnik. Fachberichte Simulation, Band 9, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokio, 1988
- [8] Lachmann, J.: Entwicklung eines simulationsgestützten Condition-Monitoring-Systems zur Onlineüberwachung des mechanischen Antriebsstranges von Multimegawattwindenergieanlagen, Dissertation, RWTH Aachen, 2008