VII Zusammenfassung und Ausblick

Geöffnete Seilproben von Schrägaufzügen an Hochöfen zeigen unterschiedliche Schadensmechanismen. Neben Bereichen, in denen sich aufgrund der Biegewechselbeanspruchung und äußerem Verschleiß Drahtbrüche einstellen, finden sich Abschnitte mit starker innerer Schädigung verursacht durch die nahezu vollständige Entlastung des Seils bei jedem Lastspiel. Charakteristisch ist hier das Auftreten von Rotrost, starker Abrieb im Seilverband sowie die große Zahl innerer Drahtbrüche. Beiden Schadensbildern gemein ist die Tatsache, daß mit den sich einstellenden Schäden eine lokale Minderung des metallischen Seilquerschnittes verbunden ist. Für eine umfassende Beurteilung von Schrägaufzugseilen bietet sich daher an, die magnetinduktive Streuflußprüfung heranzuziehen, deren Meßprinzip auf solchen Änderungen beruht.

Wird diese zur Zeit bereits zur Erkennung von Drahtbrüchen genutzt, so fehlen bisher Erfahrungen und Methoden zur Identifizierung und Bewertung der anderen im vorliegenden Problemfall interessierenden Seilschäden. Nachteil selbst bisheriger Anwendungsgebiete der magnetischen Streuflußprüfung ist bis heute, daß nur durch eine visuelle Auswertung der Meßdaten durch einen Inspekteur mit langjähriger Erfahrung eine hohe Quote korrekt erkannter Drahtbrüche erzielt werden kann. Existierende rechnergestützte Auswertealgorithmen erreichen aufgrund ihrer sehr einfachen Untersuchungskriterien die Treffsicherheit dieser visuellen Auswertung nicht. Rechnergestützte Verfahren versagen bisher besonders dann, wenn der auszuwertende Signalverlauf einen hohen Rauschpegel aufweist, der das Nutzsignal überlagert. Messungen von Schrägaufzugseilen zeigen aber gerade diesen erhöhten Rauschpegel.

Will man die magnetinduktive Streuflußprüfung dennoch für diesen ungünstigen Einsatzfall nutzen und ihre Auswertung zudem möglichst objektiv, entkoppelt von der subjektiven Bewertung eines Inspekteurs, gestalten, ist hierzu die Entwicklung eines neuartigen rechnergestützten Auswerteverfahrens notwendig.

Aufbauend auf der Fragestellung, wie ein erfahrener Inspekteur drahtbruchverursachte Signale erkennt, läßt sich hierfür ein Musterklassifikationsalgorithmus aufbauen, der anhand mehrerer Kennwerte den in Teilsignalmuster aufgelösten Signalverlauf der Messung untersucht. Da der Inspekteur bei seiner Auswertung tolerant gegenüber Signalverfälschungen ist und immer eine graduelle Beurteilung des Signal-

verlaufes vornimmt, die dann aber letztendlich zu einem scharfen Ergebnis führt, bietet sich für die Formulierung eines solchen Musterklassifikationsalgorithmus Fuzzy-Logic an. Fuzzy-Logic ist eine dem menschlichen Beurteilen nachempfundene Logik, die mit graduellen Zugehörigkeiten arbeitet und ebenfalls am Ende der Untersuchung ein scharfes Ergebnis liefert.

Grundlage für die Musterklassifikation sind zwei die beiden Ergebnisklassen äußerer Drahtbruch, DBA, und innerer Drahtbruch, DBI, repräsentierende Referenzmuster, die zunächst die theoretische Form der gesuchten Signalmuster vorgeben. Diese Referenzmuster werden in ihrer Form durch neun charakteristische Kennwerte beschrieben. Jedem Kennwert der beiden Ergebnisklassen wird eine unscharfe Menge zugewiesen, die über ihre Zugehörigkeitsfunktion betragsmäßig definiert ist.

Die aus dem Signalverlauf gebildeten Einzelsignalmuster können nun anhand der charakteristischen Kennwerte mit den Referenzmustern verglichen und daraus die Zugehörigkeitsgrade zu den beiden Ergebnisklassen und zu den beiden entsprechenden Komplementärklassen errechnet werden. Die endgültige Klassifizierung des untersuchten Signalmuster, also die Entscheidung, ob es sich bei dem untersuchten Muster um ein drahtbruchverursachtes Signal handelt, erfolgt durch Vergleich der vier Zugehörigkeitsgrade.

Das eigentliche Problem stellt dabei die betragsmäßige Definition der unscharfen Mengen dar. Sie erfolgt zunächst durch eine statistische Auswertung realer Signalmuster der beiden Ergebnisklassen. Mit dieser Einstellung lassen sich zwar bereits gute Klassifikationsergebnisse erreichen, sie sind für eine befriedigende Erkennungsquote von Drahtbrüchen allerdings noch nicht ausreichend. Daher ist eine Optimierung der betragsmäßigen Definition der unscharfen Mengen und die Auswahl der geeigneten Kennwerte für die Klassifikation notwendig.

Dieses Optimierungsproblem wird hierzu als Extremwertaufgabe aufgefaßt, die darin besteht, daß ein Parametersatz für die Konfiguration des Klassifikators zu finden ist, mit dem das Klassifikationsergebnis eines vorgegebenen Trainingsdatensatzes mit der geringsten Abweichung nachvollzogen werden kann. Gelöst wird diese Extremwertaufgabe mit Hilfe des genetischen Algorithmus, einem evolutionären Verfahren, unter Anwendung des Prinzipes der natürlichen Auslese.

Der mit diesem Optimierungsverfahren gewonnene Parametersatz liefert einen Klassifikationsalgorithmus, der in der Lage ist, die in vorliegenden Messungen enthalte-

nen Signalmuster zu über 99% korrekt zu klassifizieren. Vielfach erfolgt eine 100%ig richtige Zuordnung der Signalmuster zu den Ergebnisklassen.
Der optimierte Klassifikator ist nun in der Lage, die Auswertung der Meßdaten magnetinduktiver Streuflußprüfungen an Schrägaufzugsseilen bezüglich der Erkennung von Drahtbrüchen durchzuführen. Die vorgenommenen Einstellungen sind jeweils für einen Seiltrieb mit seinen spezifischen Schadensmechanismen der Drahtseile gültig.
Diese Voreinstellung erfolgt ausschließlich durch Auswertung von Probemessungen, d.h. abgelegte, repräsentative Seilstücke des zu untersuchenden Seiltriebs werden magnetinduktiv geprüft und anschließend eine Schadenszuordnung zwischen Messung und geöffneter Probe vorgenommen.
Um eine optimale Abgrenzung drahtbruchverursachter Signalmuster zum Rauschen vornehmen zu können, sind neben Daten von drahtbruchverursachten Signalmustern solche vom Rauschpegel im Trainingsdatensatz notwendig.
Es werden somit keine Nullmessungen von jeder neuen Seilgarnitur benötigt!
Mit dem entwickelten Klassifikator liegt ein sicheres Verfahren zur Drahtbrucherkennung mittels magnetinduktiver Streuflußmessungen unabhängig von einem erfahrenen Inspekteur vor. Seine Praxistauglichkeit und Zuverlässigkeit konnte in ersten Auswertungen von Betriebsmessungen gezeigt werden.

Neben dieser klassischen Nutzung magnetinduktiver Streuflußmessungen, der Erkennung von Drahtbrüchen, ist für eine umfassende Beurteilung von Schrägaufzugseilen die Bewertung der Seilabschnitte mit starker innerer Schädigung notwendig.
Dazu läßt sich die bereits bekannte Tatsache nutzen, daß der Rauschpegel des bei magnetinduktiven Streuflußmessungen aufgenommenen Signals mit steigender Korrosion und Verschleiß zunimmt. Die Frequenzanalyse des Rauschpegels von Messungen an Seilproben ohne und mit deutlicher innerer Schädigung zeigt signifikante Unterschiede: Während Amplitudenspektren im Signalverlauf der Messung ohne innere Schädigung eine dominante Frequenz mit geringer Streuung, die Litzenfrequenz, aufweisen, zeigt die Analyse des Meßsignals der Probe mit starker innerer Schädigung dieses Bild nicht. Hier findet sich keine dominante Frequenz, vielmehr eine breite Streuung der maximalen Amplitude im Amplitudenspektrum.

Trägt man die beiden Momente der Verteilung der Frequenz mit der maximalen Amplitude in ein Mittelwert-Streuungs-Diagramm ein, so lassen sich beiden Schadenszuständen deutlich unterschiedliche Bereiche zuordnen.
Übernimmt man die entsprechenden Wertepaare anderer Messungen ebenfalls in dieses Diagramm verfestigt sich dieses Bild. Es läßt sich deutlich ein eng umgrenzter Bereich ausmachen, in dem Werte von Messungen von Seilen mit nur unerheblicher innerer Schädigung liegen. Dort findet man auch die Wertepaare von Messungen neuer, unbelasteter Seile. Dementsprechend kann man auch Messungen von Seilen mit starker innerer Schädigung einen, wenn auch größeren Bereich, in diesem Diagramm zuweisen.
Mit Hilfe dieses Diagramms besteht nun die Möglichkeit, den inneren Schädigungszustand eines Seils anhand des Vergleiches mit den Wertepaaren von Seilproben bekannter innerer Schädigung qualitativ abzuschätzen. Der sich bisher einer Beurteilung entziehende innere Zustand des Drahtseils läßt sich mit diesem Verfahren in eine Gesamtbewertung des Seils integrieren.

Die Kombination beider Auswerteverfahren schafft nun die Möglichkeit, den Zustand von Schrägaufzugseilen im für magnetinduktive Messungen zugänglichen Bereich umfassend und objektiv zu beurteilen und die Ergebnisse der bisher durchgeführten visuellen Kontrollen um entscheidende Kriterien über den Seilzustand zu ergänzen.

Bisher beschränken sich die Untersuchungen und die Anwendungsfälle beider Verfahren auf Drahtseile von Schrägaufzügen an Hochöfen. Da es sich jedoch um ein vielversprechendes Verfahren handelt, sollte seine Anwendung auch auf die Untersuchung von Seilen anderer Seiltriebe ausgedehnt werden. Da beispielsweise Kranseile oftmals einen recht geringeren Rauschpegel in magnetinduktiven Messungen zeigen, ist hier mit einer problemlosen Übertragung des Musterklassifikationsverfahrens zur Erkennung von Drahtbrüchen zu rechnen. Erste Untersuchungen in diese Richtung bestätigen dies.
Darüber hinaus ist der Klassifikator in der Lage, beliebige andere Seilschäden zu erkennen, sofern sie charakteristische Signalverläufe hervorrufen. Der verwendete Klassifikator untersucht die Messungen bisher nur auf Signalmuster, die durch innere und äußere Drahtbrüche mit geringem Bruchendenabstand hervorgerufen werden. Die Ausweitung auf weitere Drahtbrucharten, auch auf Litzenbrüche usw. ist möglich.

Die Beurteilung des inneren Schädigungszustandes mittels einer Frequenzanalyse des Rauschpegels magnetinduktiver Messungen beschränkt sich zur Zeit noch auf eine rein qualitative Aussage. Es sollte aber die Möglichkeit bestehen, in Abhängigkeit vom Seiltrieb, eine Korrelation mit dem Bruchkraftverlust herzustellen, da sich, sieht man von außergewöhnlichen Einzelereignissen ab, die auftretenden Schadensverläufe an ein und demselben Seiltrieb weitestgehend ähneln.