I Einleitung und Zielsetzung

Im Gegensatz zu vielen anderen Maschinenelementen hat ein Drahtseil aufgrund der üblicherweise hohen dynamischen Belastung und zahlreichen Wechselbiegungen, die in den einzelnen Drähten neben Zug- auch erhebliche Biegespannungen oberhalb der Dauerfestigkeit hervorrufen, nur eine begrenzte Lebensdauer. Korrosion und Verschleiß führen darüber hinaus zu einer allmählichen Querschnittsabnahme. Ermüdungsbrüche einzelner Drähte sind die Folge, deren Häufigkeit mit Annäherung an das Ende der Seillebensdauer überproportional ansteigt und im Gewaltbruch des Restseils endet.

Schon von Beginn der Geschichte des Drahtseils, seit seiner Erfindung 1834 durch Wilhelm August Julius Albert, war die Seilinspektion ein wesentliches Element zur Aufrechterhaltung eines sicheren Anlagenbetriebes und zur Ausschöpfung der Lebensdauer des Drahtseils.

Die Seilinspektion hat die Aufgabe, den aktuellen Zustand des Seils aus der Bewertung von Drahtbrüchen, Korrosion und Verschleiß festzustellen. Sie besteht daher klassischerweise aus einer Sichtkontrolle und aus zusätzlichen Messungen des Seildurchmessers sowie gegebenenfalls der Schlaglänge.

Dabei können nur die Drähte untersucht werden, die an die Oberfläche des Seils treten. Beim ersten Drahtseil war dies kein Problem, da aufgrund des gewählten Aufbaus jeder Draht sichtbar war. Bei den heutigen, komplexen Seilkonstruktionen ist dies nicht mehr möglich. Der größte Teil der Drähte ist im Inneren des Seils eingeschlossen und daher für eine Inspektion nicht sichtbar. Allein aus dem äußeren Zustand muß daher auch auf den inneren geschlossen werden. Nationale Normen zur Festlegung der Ablegereife, z.B. DIN 15020 [21], berücksichtigen das Vorhandensein innerer Drahtbrüche durch eine reduzierte zulässige Anzahl äußerer Drahtbrüche.

Diese grobe Abschätzung kann nicht allen Seilbelastungen gerecht werden. Seiltriebe, zu denen auch Schrägaufzüge von Hochöfen gehören, mit einem sehr kleinem Verhältnis von kleinster zu größter Seilkraft je Lastspiel, zeigen aufgrund der ständigen Bewegung der Drähte im Seilverband eine Zerstörung der Drahtseile aus dem Inneren heraus. Eine solche Schädigung ist vom äußeren Schadensbild entkoppelt, und läßt sich daher durch bestehende Definitionen der Ablegereife, basierend auf dem äußeren Seilzustand, nicht bewerten.

Es war daher schon immer das Bestreben, innere Schäden an Seilen zu detektieren. Einzige heute verbreitet im Einsatz befindliche zerstörungsfreie Prüfverfahren sind die magnetinduktiven Seilprüfverfahren. Von diesen wiederum ist die magnetinduktive Streufeldprüfung für die Feststellung lokaler Querschnittsänderungen, wie sie Drahtbrüche darstellen, die geeignetste.

Bei diesem Verfahren wird ein Seilabschnitt in Längsrichtung aufmagnetisiert und mit Meßspulen abgefahren. Lokale Fehlstellen, wie innere oder äußere Drahtbrüche, Kerben oder Narben, erzeugen magnetische Streufelder, die in den darüber hinweg laufenden Spulen eine Spannung induzieren. Die Meßwerte werden üblicherweise analog aufgezeichnet, direkt auf einen Schreiber ausgegeben und anschließend visuell beurteilt. Diese Auswertung, die sich hauptsächlich auf den Vergleich aufeinanderfolgender Messungen und dabei auf die Erkennung von Drahtbrüche anzeigenden Signalpeaks beschränkt, erfordert eine gewisse Erfahrung. Sie führt immer wieder zu Fehlbeurteilungen, die das Vertrauen der Betreiber von Seiltrieben in dieses Meßverfahren beeinträchtigen.

So zeigt sich eine große Diskrepanz zwischen der theoretischen Leistungsfähigkeit dieses Verfahrens, wie sie von den Entwicklern magnetinduktiver Seilprüfgeräte angegeben wird, und den Erfahrungen, die die Betreiber von Seiltrieben mit den Ergebnissen solcher Prüfungen machen.

Verbreiteten Einsatz findet das Verfahren z.Z. im Bergbau und bei Seilbahnbetreibern. Auf diese Einsatzgebiete werden die Geräte entsprechend abgestimmt und von kundigem Personal mit langjähriger Erfahrung bedient.

Die Verbreitung in Hüttenwerken ist noch begrenzt. Bei der Thyssen Krupp Stahl AG existiert seit Jahren ein entsprechendes Gerät zur Kontrolle der Seile von Gießkranen in den Oxygenstahlwerken. Daneben wurden aber auch die Seile der Schrägaufzugsanlagen der Hochöfen vereinzelt in die Kontrolltätigkeit mit einbezogen. Hier besteht aufgrund der starken Verunreinigung der im Freien laufenden Drahtseile mit Schmierstoff das Problem, mittels visueller Kontrollen eine Beurteilung des Seilzustandes vorzunehmen. Selbst die Erkennung äußerer Drahtbrüche gestaltet sich dabei schwierig (Abbildung I. 1). Man hat sich daher in der Vergangenheit auf oberflächlichere Kontrollen beschränkt und die Ablegefristen erfahrungsgemäß so festgelegt, daß keine Gefahr für die Anlagen durch einen Seilriß zu erwarten ist.

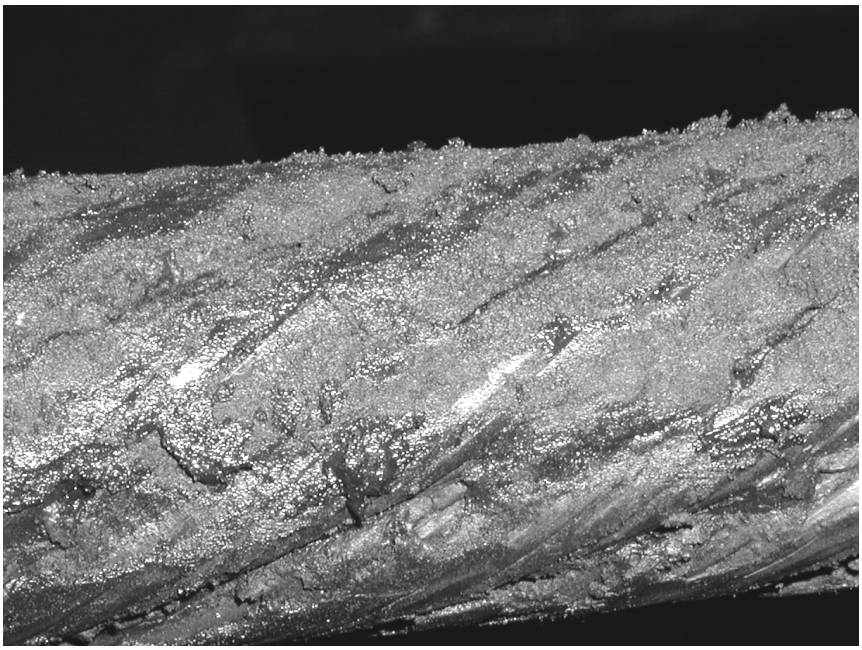

Abbildung I. 1

Durch Schmierstoff stark verunreinigtes Seil eines Schrägaufzuges

Quelle: Thyssen Krupp Stahl AG, Duisburg

An den Kübelaufzügen älterer Hochöfen kam es dennoch in den vergangenen Jahren mehrmals zu Seilrissen an den Gegengewichtsseilen und zum Absturz der Gegengewichte mit katastrophalen Folgeschäden (Abbildung I. 2, Abbildung I. 3). Dies war der Anlaß, die Seilinspektion an den Schrägaufzugsanlagen neu zu überdenken. Daneben stand der Wunsch, die Lebensdauer der Seile besser auszunutzen, um die Instandhaltungskosten in dieser Hinsicht zu senken.

Ein Verfahren zur Beurteilung von Schrägaufzugseilen mit ausreichender Genauigkeit hat zwei Schädigungsarten zu erfassen: Zunächst besteht die Aufgabe, einzelne Drahtbrüche, äußere wie innere, zu erkennen. Die zweite Aufgabe besteht in der Erkennung von Seilabschnitten mit vorliegender innerer Zerstörung.

Beide Aufgaben lassen sich mit der magnetinduktiven Streuflußmessung lösen, da beide Schädigungsarten durch lokal begrenzte Querschnittsänderungen gekennzeichnet sind.

Die Anwendung des Prüfverfahrens an den Schrägaufzügen der Hochöfen im Hochofenbetrieb Hamborn zeigte bereits nach den ersten Messungen die Probleme der Auswertung:

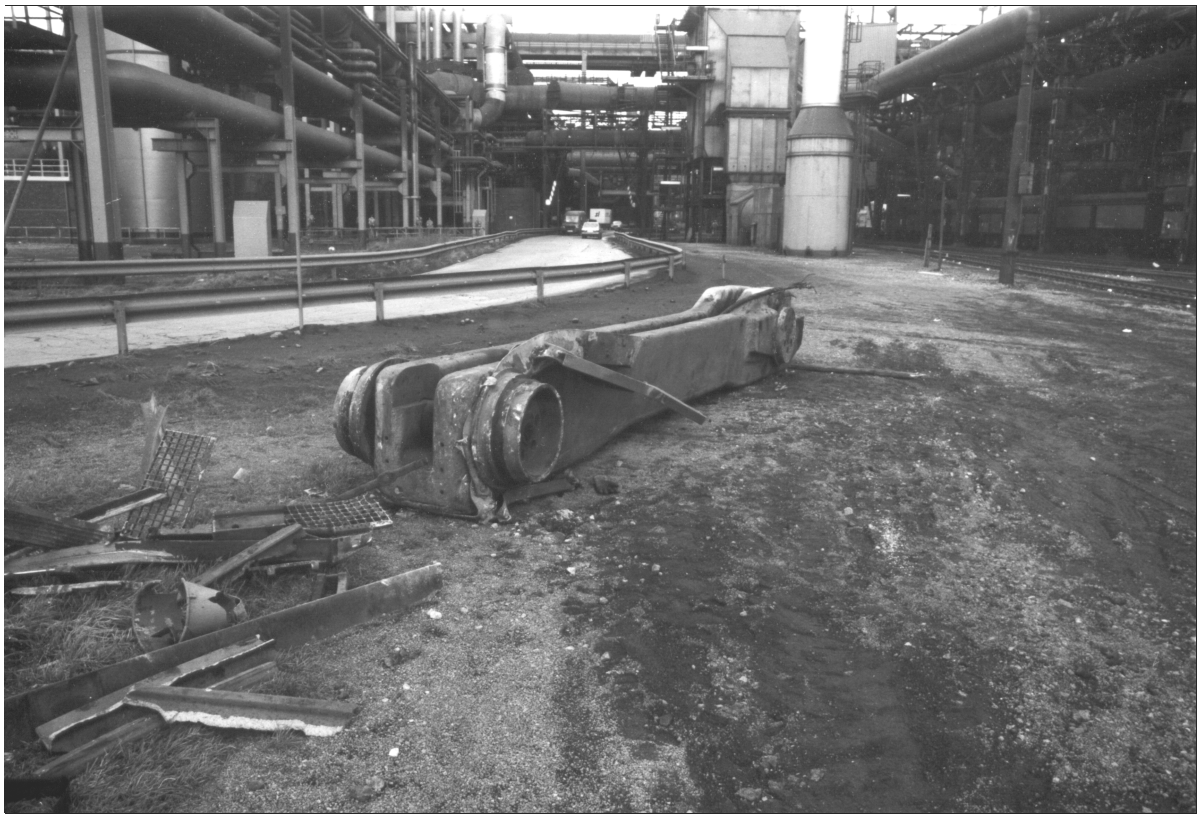

Abbildung I. 2

Nach Seilriß abgestürzter Gegengewichtswagen des Hochofens 6/ Hamborn der Thyssen Krupp Stahl AG
Im Vordergrund links: Beim Aufprall zerstörte Eisenbahnschienen

Quelle: Thyssen Krupp Stahl AG, Duisburg

Abbildung I. 3

Durch Aufprall des Gegensgewichtswagen zerstörte Eisenbahnschienen

Quelle: Thyssen Krupp Stahl AG, Duisburg

Die Durchsicht der auf einem Papierstreifen ausgegebenen induzierten Spannung über die Seillängenkoordinate und der Vergleich mit vorangegangenen Messungen

zwecks Feststellung von Abweichungen ist naturgemäß subjektiv. So besteht zum Teil erheblicher Interpretationsspielraum. Daher entstand der Wunsch, die Treffsicherheit der Meßergebnisse zu verbessern und die Auswertung objektiver zu gestalten. Darüber hinaus sollen die Kontrollen auch durch unerfahreneres Personal durchführbar sein.

Um diese Forderungen erfüllen zu können, ist eine rechnergestützte Auswertung der Meßergebnisse erforderlich.

Dazu sind in der Vergangenheit bereits Verfahren erarbeitet worden, die die Meßdaten in der Regel ausschließlich auf drahtbruchverursachte Signale hin untersuchen. Als Kriterium für einen erkannten Drahtbruch wird in den meisten Fällen die Amplitudengröße herangezogen. Beim Überschreiten eines vorgegebenen Grenzwertes erfolgt eine Registrierung als Bruch.

Z.Z. können sich diese Auswertealgorithmen in der erreichbaren Erkennungsquote mit der wesentlich komplexeren klassischen Auswertung noch nicht messen. Der erfahrene Inspekteur kennt die Signalformen, die Drahtbrüche und andere Schäden, wie Korrosion, hervorrufen und kann so eine detaillierte Interpretation der vorliegenden Schriebe vornehmen, während die rechnergestützten Methoden lediglich einzelne Merkmale abfragen.

Das Problem aller Auswerteverfahren, visueller, vor allem aber rechnergestützter, ist die Beeinträchtigung der Signale durch den Rauschpegel, der durch die Seilkonstruktion selbst sowie Korrosion und Verschleiß bedingt ist. Er kann in seiner Amplitude ähnliche Beträge wie manche drahtbruchverursachten Signalpeaks erreichen. Dadurch wird vor allem die Erkennung innerer Brüche unsicher. Da somit die Amplitude alleine als Erkennungsmerkmal eines Drahtbruchs nicht ausreicht, muß sich ein zuverlässiges Auswerteverfahren von der reinen Bewertung dieses Kennwertes lösen und vielmehr die Charakteristika der durch einen Schaden hervorgerufenen Signalform als Entscheidungskriterium heranziehen. Diese Signalformen sind zwar schon seit langer Zeit bekannt, ihre Charakteristika finden aber nur sehr unzureichend Eingang in rechnergestützte Auswerteverfahren.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist, ausgehend von der Problemstellung, die Beurteilung von Schrägaufzugseilen zu verbessern, die Entwicklung eines umfassenderen, rechnergestützten Auswerteverfahrens von magnetinduktiven Streuflußmessungen.

Im Vordergrund steht die Erkennung einzelner äußerer und innerer Drahtbrüche. Dazu soll angelehnt an die Auswertemethodik eines erfahrenen Inspekteurs ein Mu-

sterklassifikatior mittels Fuzzy-Logic entwickelt werden, der drahtbruchverursachte Signalmuster in den aufgezeichneten Meßdaten identifiziert.

Daneben steht das Ziel, den Aussagegehalt der magnetinduktiven Streuflußprüfung zu erweitern. Durch eine Frequenzanalyse des Rauschpegels soll die Möglichkeit geschaffen werden, auf den inneren Schädigungszustand von Drahtseilen zurückzuschließen.