

Automatische Erkennung von Lastwechselbrüchen bei Stahldrahtseilen

Ralf Schlegelmilch
RTE Akustik + Prüftechnik GmbH

Akustische Prozesskontrolle

Bei der akustischen Prozesskontrolle werden akustische Merkmale aufgrund von Schwingungen, die dieser Prozess verursacht (Schall oder Eigenresonanz), bewertet. Bei vielen Prozessen treten Störungen auf, welche zusätzlich zu den stationären (gleichförmigen) Schwingungen auf Grund der Änderung gemessener Merkmale erkannt werden können. Solch eine Störung ist beispielsweise beim Abriss eines Seils der plötzliche Schlag, welcher eine veränderte Schwingung des Seils, und damit auch eine veränderte Schallausbreitung zur Folge hat.

Der beim Abriss entstehende Schlag lässt sich als Diracstoß betrachten, welcher sich im wesentlichen durch die extrem breitbandige Anregung der Umgebung auszeichnet. Durch die Ausbreitung von Körperschall können im allgemeinen Kennwerte wie die Eigenresonanz eines Körpers, der Crestfaktor oder die sich ändernde Schallausbreitung ausgewertet werden. Die Eigenresonanz ändert sich in vielen Fällen bei Fehlern oder Vorgängen im Prozess. Da der Crestfaktor als Verhältnis der Amplitude eines Pulses zum Effektivwert einer Schwingung angegeben ist, lässt sich da Knacken oder der Schlag beim Riss direkt bewerten. Faktoren welche diese Kennwerte beeinflussen sind die (innere) Struktur eines Materials, seine Größe und dem Material selbst. Änderungen dieser Faktoren haben spezifische Änderungen der Kennwerte zur Folge.

Zur Bestimmung der Kennwerte ist nach dem Erfassen der Messgröße eine Anwendung frequenzselektiver Methoden wie Filterung oder Spektralanalyse notwendig, um anschließend die Pegel vergleichen zu können. Ein Prüfrechner führt diese Methoden schritthaltend aus und kann individuell auf die Parameter des Prozesses eingestellt werden. Nach dieser Lernphase erfolgt die Überwachung der Kennwerte durch den Rechner selbstständig und Ergebnisse werden ausgewertet und visualisiert.

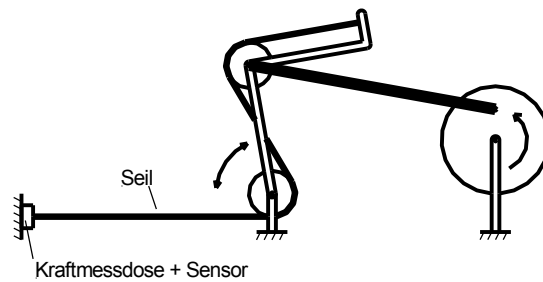
Prüfstand für die zerstörende Prüfung von Stahlseilen

Die Untersuchung von Stahlseilen auf den Abriss einzelner Drähte oder aber dem Abriss des ganzen Seils hin ist unter Verwendung eines entsprechenden Prüfstandes (Abbildung 1) möglich. Der zu überwachende Prüfprozess wird auf die Existenz bzw. die Art der Zusammenhänge der akustischen Kenngrößen und dem Teil- oder Vollabriss des Seils hin untersucht.

Für die Untersuchung sind verschiedene Faktoren relevant. Zum einen ist die Festlegung der Messbedingungen notwendig. Dabei werden die Platzierung des Sensors und die Frequenz- und Pegelbereiche festgelegt, in denen gemessen werden soll. Die optimale Erfassung des Schalls mit möglichst geringem Anteil von Störgeräuschen und möglichst idealem Erfassen des vom Schlag entstandenen Schalls ist hierbei entscheidend. Weiterhin muss die Reproduzierbarkeit

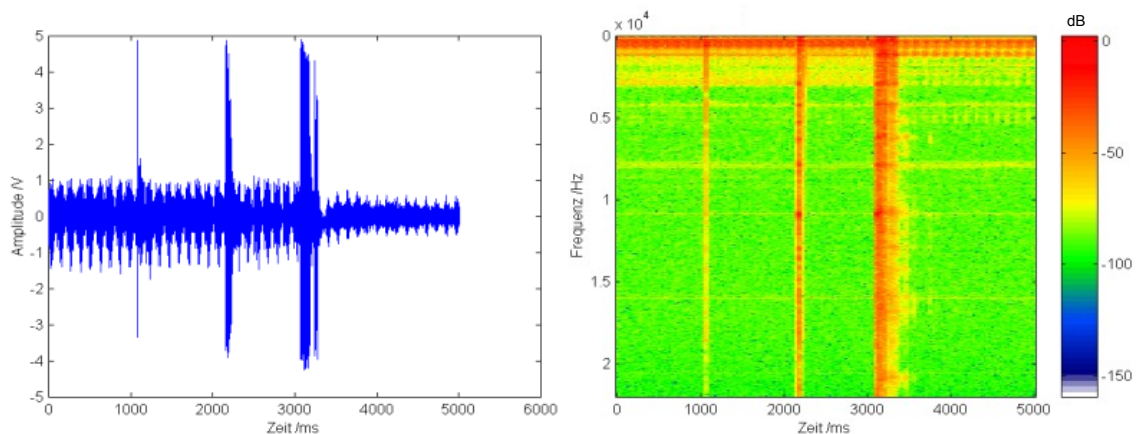
bezüglich dieser Faktoren in jedem Fall gewährleistet sein. Der Einfluss der Varianz des stationären Signalanteils auf die Messung ist zu beurteilen. Zudem ist es notwendig, die Messungen bezüglich unterschiedlicher Eigenschaften von Prüfling und Prüfprozess zu beurteilen. Um die Messungen auswerten zu können, müssen charakteristische Kennwerte für die durch den Abriss erzeugten Änderungen im Schall bestimmt werden.

Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Prüfstands



Die Erfassung der Körperschallsignale des Seils wird durch einen Beschleunigungssensor realisiert, der am Kopf der Schraube des ruhenden Seilendes, welche für die Abtragung der Zugkraft zuständig ist, in Richtung der Seilkraft mittels einer Gewindebohrung montiert ist. Um die Trägheit und Signalverfälschung möglichst zu reduzieren, kommt ein Sensor mit einer extrem niedrigen Eigenmasse von weniger als 2 Gramm zum Einsatz. Die folgende Signalverarbeitung besteht aus Verstärkung und Wandlung in digitale Signale um die Weiterverarbeitung mittels der Messsoftware und die Speicherung zu ermöglichen.

Bei der Wandlung wird das zeit- und amplitudenkontinuierliche Signal in ein zeit- und Amplitudendiskretes (digitalisiertes) Signal umgewandelt. In diesem Zeitsignal sind nun die durch den Schlag hervorgerufenen Änderungen im Signal visuell sichtbar. Im Zeitsignal in Abbildung 2a sind die Lastwechselfrequenz sowie die drei Phasen, in denen das Seil reißt, deutlich zu **Abbildung 2: Seilabriss in drei Phasen**



a: Diskretes Zeitsignal

b: Spektralanalyse

erkennen, jedoch ist die automatische Detektion eines Abrisses durch den Prüfrechner dadurch noch nicht gewährleistet. Abbildung 2b zeigt das Signal nach einer Spektralanalyse mittels FFT (Fast Fourier Transformation), welche die Frequenzanteile eines Signals bezüglich der Amplitude ermittelt. Die dB-Skala bezieht sich auf die maximal im Frequenzbereich enthaltene Amplitude. Mit einem Pegel von -80 bis -100 dB ist zu jedem Zeitpunkt jede Frequenz enthalten. Die Schwingungen der Maschine und der drei Phasen des Abrisses heben sich mit 0 bis -70 dB deutlich davon ab. Zur automatischen Detektion, bei der der Abriss von den Maschinengeräuschen unterschieden werden muss, stellt sich die FFT allerdings als zu unsicher heraus.

Filterung und Crestfaktoranalyse eignen sich hierfür besser, während die FFT zur Analyse von Sekundäreinflüssen wie das Resonanzverhalten von benachbarten Teilen erforderlich ist. Der Crestfaktor ist für die von den Schlägen verursachten Amplitudensprünge wesentlich höher als für die statischen Schwingungen.

Auch wenn die Prüfbedingungen bezüglich Lastwechselfrequenz, Seiltyp oder Rissposition variiert werden, ist ein Teil- oder Vollabriss uneingeschränkt detektierbar. Dabei ist die geforderte Reproduzierbarkeit gut. Umgebungsgeräusche haben nur eine geringe Auswirkung auf die Sicherheit der Detektion während die Zuordnung der Erkennungsmerkmale eindeutig möglich ist. Die Automatisierung des Prüfvorgangs ist mit geeigneter Hard- und Software automatisierbar.

Schwingungsanalyse mit LC Vibro

Das speziell für Aufgaben in der Schwingungsanalyse entwickelte Low Cost Sensorsystem LC Vibro (Abbildung 3) ist für den Einsatz im Lastwechselprüfstand ideal. Wo bisher eine mit hohen Kosten verbundene Kette von Geräten notwendig war, um solche Aufgaben zu bewältigen, ist für die Prüfung kaum mehr als der Sensor, ein Rechner und ein LC Vibro erforderlich. Nahezu alle Hardwaregebundenen Aufgaben sind in diesem System integriert. Eine Verstärkung des



Sensorsignals, welche in 8 Stufen von 1 bis 200 über einen PGA (Programmabel Gain Amplifier) softwareseitig mit einer Dynamik von bis zu 100 dB eingestellt werden kann und die für die Schwingungsanalyse notwendige hochauflösende Wandlung durch einen 24-bit S/D-Wandler ist lediglich ein Teil des Systems. Für die beiden Sensoreingänge steht zudem eine konstante Stromspeisequelle zur Verfügung. Siehe auch Abbildung 4.

Den Kern des Systems bildet ein FDSP (Floatingpoint Digital Signal Processor), welcher außer den Schnittstellen zum S/D-Wandler und zum Rechner (RS232) weitere Schnittstellen zum Eingriff in den Prozess (RS232) und Ansteuerung der SPS koordiniert. Der Pegel für die SPS ist bereits auf den HTL-Pegel angepasst und zudem galvanisch vom Potential des LC Vibro getrennt. Die Emulator-Schnittstelle dient zum Anschluss der zur Einrichtung erforderlichen Entwicklungsumgebung. Der integrierte Speicher für den DSP ermöglicht zudem, große Teile von rechenaufwändigen Vorgängen wie FFT, Filter oder Crestfaktor bereits im Gerät durchzuführen und den PC zu entlasten. Die Spannungsversorgung des Systems ist durch bereitstellen eines 24V HTL-Pegels sichergestellt.

Abbildung 3: LC Vibro

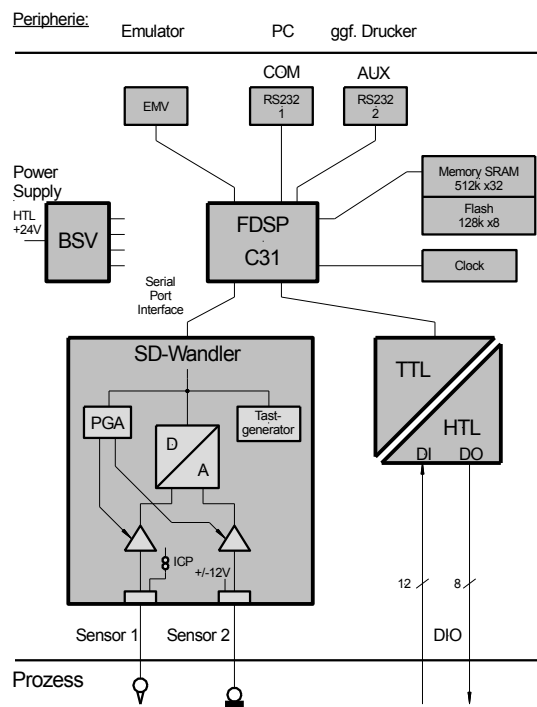


Abbildung 4: LC Vibro – Blockschaltbild