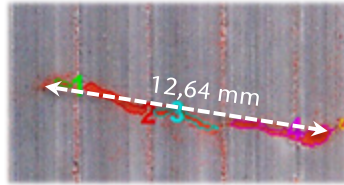


Entwicklung eines optischen Rissvermessungssystems



Jakob, M.

Zur Ermittlung von Risswachstum wurde am Institut für Maschinenwesen ein optisches Verfahren zur Erfassung und automatisierten Vermessung von Rissen entwickelt. Zur Sichtbarmachung der Risse wurde die Magnetpulverprüfung angewendet, die Erfassung und Auswertung der Bilder erfolgte mit MATLAB.

An optical measuring system for detecting and recording cracks in welded seams was developed at the Institute of Mechanical Engineering. Magnetic particle inspection was used for uncovering fractures. The resulting images were recorded and analyzed with MATLAB.

Einleitung und Anforderungen

Bei der Nahtprüfung eines Trommelmantels zeigten sich kleine Risse an einer umlaufenden Schweißnaht. Durch wiederholtes Aufbringen von Torsions- und Manteldrucklasten durch den am Institut neu entwickelten 500 kNm Torsionsprüfstand soll die Lebensdauer der Trommel simuliert werden, um die vorhandenen Risse auf ein mögliches Risswachstum zu untersuchen. Im Rahmen einer Abschlussarbeit [1] wurden dazu die vorhandenen Risse detektiert, passende Risserschließungssysteme untersucht und ausgewählt. Die Realisation der Bilderschließung, der Bildverarbeitung und der Vermessung der Risse erfolgte mit MATLAB. Ziel war es, ein mögliches Risswachstum in Abhängigkeit der Belastungszyklen kontinuierlich aufzuzeichnen.

Systeme der Risserkennung

Mit Hilfe der magnetischen Rissprüfung konnten die Positionen der Risse festgestellt werden. Zur Bildaufnahme wurde die Mikroskop-Kamera DigiMicro Profi mit zwei Zoomstufen eingesetzt. Der aufgezeichnete Riss in Abbildung 1 hebt sich nur sehr schwach von der mit Riefen versehenen Trommeloberfläche hervor. Die Spuren des Risses gehen in den Unebenheiten der Bearbeitungsriefen, sowie Staub und anderen Fremdkörpern unter. Auf Grund dieser Bedingungen erscheint eine reine softwarebasierte Umsetzung der Rissvermessung über eine einfache Sichtprüfung nicht realisierbar. Aus diesem Grund wurden verfügbare Risserkennungssysteme bezüglich ihrer Eigenschaften untersucht und deren Eignung für die an die Prüfaufgabe gestellten Anforderungen wie Kosten,

geometrische Randbedingungen und Qualität der Messung bewertet. Eine bevorzugte reine Sichtprüfung mittels Mikroskop oder die Detektion der Risse über das Penetrierverfahren stellten sich als nicht geeignet heraus, da beide Verfahren die Risse experimentell nicht ausreichend sichtbar und auswertbar machen konnten.

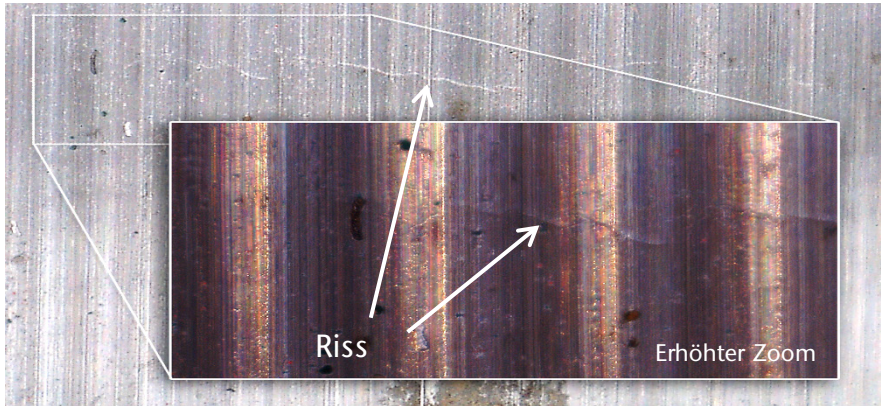


Abbildung 1: Schwach sichtbare Risspuren ohne und mit erhöhtem Zoom

Magnetische Rissprüfung

Erst durch die magnetische Rissprüfung konnten die Risse ausreichend sichtbar gemacht werden. Im Rahmen von Voruntersuchungen wurden verschiedene Risspulver, Beleuchtungsszenarien und Grundierungen bezüglich Aufwand und erzeugten Kontrast untersucht. Das Pulver BS-850 A der Firma Ril Chemie erzeugte mit den in der Kamera eingebauten LEDs ohne zusätzliche Grundierung ein sehr kontrastreiches, orangefarbenes Rissbild (s. Abbildung 2).



Abbildung 2: Mittels magnetischer Prüfung erfasstes Rissbild

Umsetzung der Rissaufnahme

Nach einer bestimmten Anzahl an Lastzyklen wird die Prüfung pausiert und eine Auswahl an Rissen der magnetischen Rissprüfung unterzogen: Nach dem Säubern mit einem Reiniger werden alle Rissstellen magnetisiert und gleichzeitig ein magnetisierbares Risspulver aufgesprüht. Sind alle Stellen getrocknet, so kann nacheinander jeder Riss nach dem Einbau der Kamera aufgenommen werden. Danach kann mit dem Abfahren der Lastzyklen fortgefahren werden.

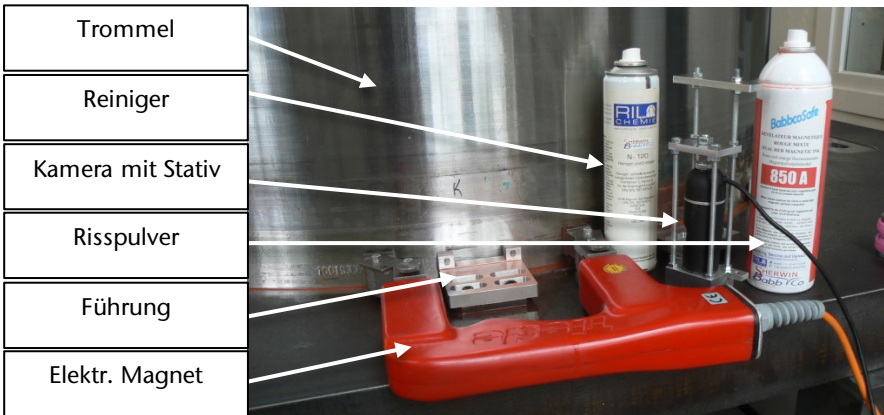


Abbildung 3: Verwendete Komponenten für die Rissprüfung

Bildaufnahme mittels neuer Software: MikroUSBCap

Die Erfassung der Bilder erfolgte mit einer digitalen Mikroskop-Kamera "DigiMicro Profi" von DNT. Die mitgelieferte Software „DigiMicro Profi Software“ ermöglicht das Speichern von Bildern und Videos. Eine ereignisgesteuerte Bilderfassung durch die Vorgabe von externen Steuersignalen war damit allerdings nicht möglich. Es entstand am IMW ein MATLAB-GUI, welches das manuelle, zeitgesteuerte sowie durch ein externes Spannungssignal ausgelöste Auslesen von bis zur vier Kameras ermöglicht. Das Einlesen der externen Spannungssignale erfolgte mit einem preisgünstigen Entwicklungsboard über eine Arduino-USB-MATLAB-Schnittstelle. Die mit dem GUI erfassten Bilder werden in einem weiteren Programm ausgewertet.

Bildverarbeitung und Bildanalyse mit ARLM

Das GUI „ARLM“ dient zur Verarbeitung der erfassten Bilder und der automatisierten Vermessung der Risse. Das Programm ist in verschiedene Bereiche gegliedert, welche in Abbildung 4 mit Nummern versehen sind. Die Bereiche 1

und 2 dienen dem Einladen und Bearbeiten von einem sogenannten Masterbild, das beispielhaft für die anderen Rissbilder konfiguriert wird. Durch geeignetes Zurechtschneiden des Bildbereiches, Farbselektion und Kantendetektion können die Risse über die Software erkannt werden. Durch den Abgleich von einer im Realen bekannten Strecke im Bild kann unter dem Bereich 3 „Kalibrieren“ eine Länge in Pixel in ein reales Längenmaß verrechnet werden. Mit der Schaltfläche 4 werden die über den Prüfverlauf aufgenommenen Rissbilder in das Programm geladen. Durch Betätigung der Schaltfläche 5 werden die eingeladenen Bilder automatisiert nach den vorab getroffenen Einstellungen des Masterbildes verarbeitet. Das Ergebnis der Flächen- und Längenvermessung wird in Bereich 6 als Tabelle angezeigt und kann als MATLAB, Excel oder CSV-Datei bzw. als Film oder in Form von Einzelbildern exportiert werden.

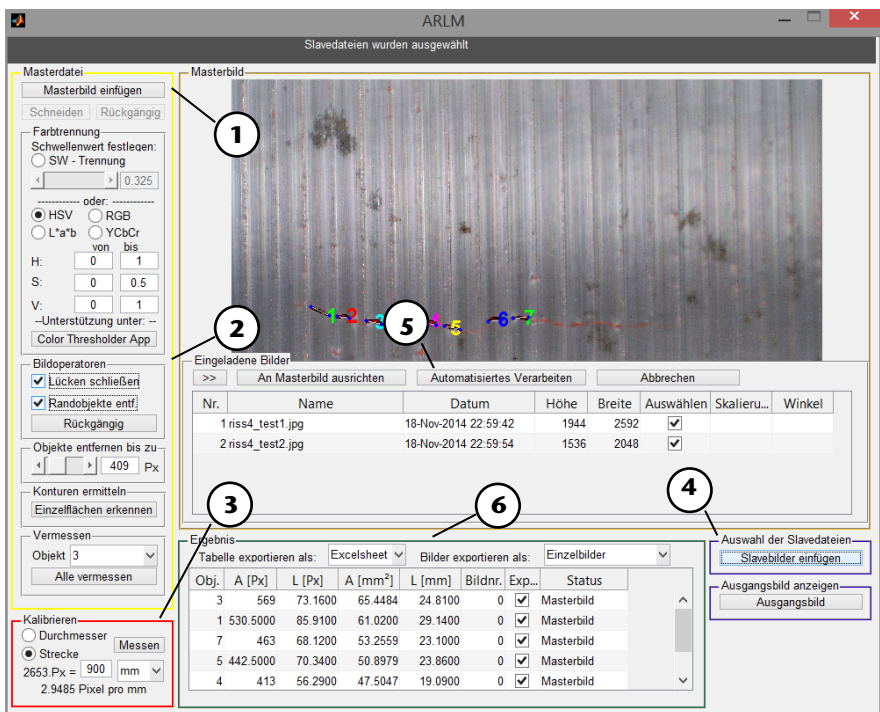


Abbildung 4: Aufbau des Programms ARLM

Auswertungs – GUI

Durch die Riefen auf der Trommeloberfläche kommt es zu Unterbrechungen der Rissdarstellung (s. Abbildung 2 und 5). Mit dem Programm ARLM werden nur Abschnitte des gesamten Risses ausgemessen. Ein einfaches Aufsummieren aller

vermessenen Einzellängen würde auf Grund der Lücken und der unterschiedlichen Ausrichtung der Teilrisse zu einem falschen Ergebnis führen. Des Weiteren färbt das Pulververfahren auch Bereiche ein, die nicht zum Riss gehören. Auch mehrmaliges Einfärben des gleichen Risses führte verfahrensbedingt zu unterschiedlichen Rissdarstellungen.

Es wurde im Rahmen der Umsetzung notwendig, einen stabilen Algorithmus zu finden, der die Rissanfänge zuverlässig erkennt und der die Kontur der Risse nachverfolgen kann. Dennoch sollte er gegenüber Störungen, wie zum Beispiel fälschlicherweise eingefärbter Flächen außerhalb des Risses, unempfindlich sein.

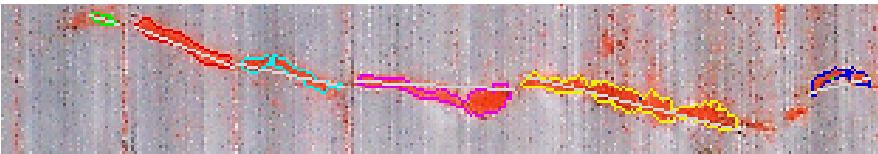


Abbildung 5: Unterbrochene Rissabschnitte (Ausschnitt)

Durch mehrmaliges Anwenden und Aufzeichnen der Rissprüfung pro Messvorgang können die erkannten Rissflächen in dem „Auswertungs-GUI“ in einem Histogramm (Abbildung 6) übereinander gelegt werden. Bereiche, die nur selten auftreten, werden als fehlerhafte Einfärbungen erkannt und herausgefiltert. Ausgenommen davon sind die Rissanfänge, die das Programm automatisiert erkennt.

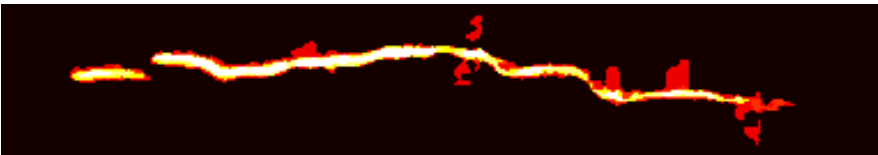


Abbildung 6: Histogramm der erfassten Rissbilder

Über das direkte Vermessen der am weitesten auseinander liegenden Punkte oder durch Splineinterpolation der Schwerpunkte der Teilrisse können die Risslängen bestimmt werden (s. Tabelle 1). Obwohl der gleiche Riss mehrmals in gleicher Weise eingefärbt und aufgezeichnet wird, zeigen sich deutliche Abweichungen in den gemessenen Längen. Aus diesem Grund war ein Teil der Arbeit ein Eignungsnachweis des entwickelten Prüfprozesses nach VDA 5.

Tabelle 1: Messergebnisse einer Wiederholungsmessung $n = 5$

Messung	1	2	3	4	5	\bar{l}	s
Direkt [Px]	1219,76	1253,84	1334,05	1265,76	1355,66	1285,82	50,97
Spline [Px]	1225,66	1260,27	1343,03	1270,29	1362,17	1292,29	51,78

Eignungsnachweis des entwickelten Prüfprozesses

Mit Hilfe der Stochastik lassen sich Einflussmöglichkeiten auf einen Messprozess mathematisch beschreiben. Die Standardmessunsicherheit u gibt dabei einen Wertebereich an, in dem der wahre Wert einer Messung mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit liegt. Mit der Standardunsicherheit wird derjenige Bereich bezeichnet, in dem 68 % aller Messwerte einer normalverteilten Wiederholungsmessung liegen. Werden die Grenzen des Bereiches erhöht, so steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die Messwerte im definierten Bereich liegen. Dazu kann die Standardunsicherheit u mit einem Erweiterungsfaktor k multipliziert werden, um die sogenannte erweiterte Unsicherheit U zu bestimmen. In der Technik wird in der Regel der Erweiterungsfaktor $k = 2$ verwendet. Das bedeutet, dass 95,45 % der Messwerte innerhalb des angegebenen Intervalls liegen. Durch Wiederholungsmessung konnte so die erweiterten Unsicherheiten der Software (1,56 Px), des Kamerasystems ohne Einfluss der Magnetpulverprüfung (28,80 Px), und des Gesamtsystem (79,86 Px) auf eine Bezugsgröße von 1200 Px bestimmt werden. Die durch das magnetische Verfahren sehr schwankende Messung konnte durch eine verbesserte Rissprüfung, die Anwendung von Signifikanztests für den Stichprobenmittelwert sowie mittels Ausreisetests nach Dixon stochastisch so weit abgesichert werden, dass eine Aussage über ein relatives Risswachstum in Abhängigkeit der Belastungszyklen möglich wurde.

Zusammenfassung

Im Rahmen einer Abschlussarbeit wurde ein Messsystem zur Ermittlung von Risslängen entwickelt. Mittels magnetischer Rissprüfung konnten die Risse sichtbar gemacht werden. Zur Erfassung und Vermessung der Rissbilder wurden Programme entwickelt und der Prüfprozess positiv auf seinen Eignungsnachweis überprüft. Somit steht dem Institut nun ein geeignetes Verfahren zur Rissfortschrittmessung zur Verfügung. Die entwickelte Software mit den MATLAB-Schnittstellen für die Kameras und dem Arduino ist durch ihren modularen Aufbau universell für optische Längenmessungen mittels Kamera einsetzbar.

Quelle des Artikels

- /1/ Jakob, M.: Entwicklung eines optischen Verfahrens zur Erfassung und automatisierten Vermessung von Rissen an Seiltrommeln [Masterarbeit], IMW Clausthal 2015